

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Kopírovací stroj na hokejové čepele
Copying Machine for Hockey Blades

Student:

Bc. Petr Mojžíšek

Vedoucí diplomové práce:

Dr. Ing. Anna Plchová

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Mojžíšek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: Kopírovací stroj pro hokejové čepele
Copying Machine for Hockey Blades

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rešerši v oblasti navrhovaného zařízení.
2. Specifikace technických parametrů zařízení bude provedena zadavatelem - firmou z praxe (WILLER HOCKEY EQUIPMENT). Navrhněte variantní řešení a zdůvodněte výběr řešené varianty v souladu s cíli práce.
3. Pro vytvoření 3D modelu vašeho řešení zvolte CAD/CAM systém používaný na Fakultě strojní.
4. Ze 3D modelu vytvořte sestavné výkresy vámi navrhovaného zařízení.
5. Nakreslete jeden dílenský výkres ze sestavy (zadání bude upřesněno v průběhu řešení).
6. Proved'te nezbytné výpočty s využitím speciálních SW.
7. Diplomová práce vyhotovená v souladu s požadavky a předpisy FS bude obsahovat úvodní rešerši, návrh konceptu, nezbytné pevnostní výpočty a popis konstrukčního řešení.
8. Proved'te výkresovou dokumentaci v celkovém rozsahu cca 2xA0.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*,
- [2] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů.* 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
- [4] BOHÁČEK, F. *Části a mechanismy strojů I a II.* Brno: VUT Brno, 1987.
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [6] DEJL Z. *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů.* Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3.
- [7] Učební texty pro oblast „Problematika plastů“ dostupný z www: <URL: <http://vyuka.fs.vsb.cz/course/view.php?id=147>
- [8] PLCHOVÁ, A., HRUDIČKOVÁ, M. *Design v konstrukci strojů návody do cvičení: skriptum.* 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 54 s. ISBN 80-248-0794-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Dr.Ing. Anna Plchová**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci Kopírovací stroj na hokejové čepele vypracoval samostatně pod vedením Dr. Ing. Anny Plchové a uvedl jsem všechny použité zdroje a literaturu.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytovat licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takové případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Mojžíšek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jiráskova 1812
75501 Vsetín

Poděkování

Za cenné rady, připomínky, ochotu a v neposlední řadě za čas, děkuji vedoucímu diplomové práce Dr. Ing. Anně Plchové.

A také bych rád poděkoval panu Vladimíru Kotrlovi z firmy Willer Hockey Equipment za jím poskytnuté informace, vstřícnost a celkovou podporu při přípravě a vyhotovení diplomové práce.

Anotace diplomové práce

MOJŽÍŠEK P., *Kopírovací stroj na hokejové čepele: diplomová práce*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 60 s. Vedoucí práce: Dr. Ing. Anna Plchová

Diplomová práce se zabývá návrhem jednoúčelového kopírovacího stroje na hokejové čepele z kompozitních materiálů. Cílem práce je navrhnout kopírovací stroj jednoduché konstrukce, který vydrží každodenní provoz ve firmě a nebude náročný na obsluhu. Návrh zařízení je limitován omezením zadavatele na maximální pořizovací cenu stroje a to 50.000 Kč vč. DPH.

V úvodu práce jsou popsány druhy kopírovacích strojů podobného typu, jejich základních částí, Poté následuje předvedení vlastního návrhu kopírovacího stroje s popisem jeho základních částí a funkcí. Součástí práce je 3D model navrženého stroje spolu s výkresovou dokumentací vybraných částí.

Annotation of master's thesis

MOJŽÍŠEK P., *Copying Machine for Hockey Blades : master's thesis*, Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 60 s. Thesis head: Dr. Ing. Anna Plchová

The master's thesis is focused on disposable copying machine for shaping hockey blades made of composite materials. The point of thesis is design out machine, which will be simple construction, be resistant and can handle everyday rush in workshop, also it must be easy to operate. The sponsor limited this project with 50000 czech crowns (tax included) budget.

In introduction of thesis are basic informations and research about similar copy machines . Followed by a demonstration of its own proposal copier with a description of its basic parts and functions. Part of this work is a 3D model of the design, along with the drawings of selected parts.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	10
ÚVOD.....	13
1 POŽADAVKY NA PROVEDENÍ – INFORMACE Z KONZULTACÍ S FIRMOU WILLER, MOŽNÁ OMEZENÍ.....	14
2 REŠERŠE.....	16
2.1 MECHANICKÁ FRÉZKA S NEPŘÍMÝM VEDENÍM NA DŘEVO	18
2.2 MECHANICKÁ FRÉZKA S NEPŘÍMÝM VEDENÍM NA HLINÍKOVÉ PROFILY	19
2.3 FRÉZKA S NEPŘÍMÝM MECHANICKÝM VEDENÍM ZA POMOCI PANTOGRAFU.....	21
2.3.1 Mechanická na kov s vedením za pomoci pantografu.....	22
2.3.2 Mechanická na dřevo s vedením za pomoci pantografu	23
2.4 KOPÍROVACÍ FRÉZKA S NEPŘÍMÝM ELEKTRICKÝM VEDENÍM	24
2.5 HYDRAULICKÁ KOPÍROVACÍ FRÉZKA.....	25
3 VLASTNÍ NÁVRH	27
3.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY STROJE.....	28
3.2 TYP KONSTRUKCE.....	28
3.3 RÁM.....	29
3.3.1 Ergonomie pracovního místa ve stoje	31
3.3.2 Uchycení motoru	31
3.4 ULOŽENÍ HŘÍDELE	32
3.5 UPÍNKA.....	34
3.6 FRÉZOVACÍ HLAVY.....	37
3.7 ODSÁVÁNÍ.....	38
4 REÁLNÁ KONSTRUKCE	39
4.1 PROVEDENÉ ZMĚNY	40
4.1.1 Změny na frézovací hlavě.....	40
4.1.2 Změna převodového poměru.....	43
4.1.3 Změny v ložiscích	43
4.1.4 Změny na guferech	44
4.1.5 Změna na upínce.....	45
4.2 FOTOGRAFIE A POSTŘEHY Z REÁLNÉHO PROVOZU.....	46

5 VÝPOČTY	49
5.1 NÁVRH ŘEMENOVÉHO PŘEVODU.....	49
5.2 KONTROLA TĚSNÝCH PER.....	56
5.1.1 Pero na hřídeli elektromotoru.....	57
5.1.2 Pero na hnané hřídeli	58
5.3 KONTROLA HŘÍDELE	59
5.4 VÝPOČET LOŽISEK.....	64
6 ZÁVĚR.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY.....	68
SEZNAM OBRÁZKŮ:.....	70
SEZNAM TABULEK.....	72
SEZNAM PŘÍLOH	72

Seznam použitých symbolů

d_1	průměr hřídele elektromotoru	[mm]
b_1	šířka pera hnací hřídele	[mm]
h_1	výška pera hnací hřídele	[mm]
l_1	délka pera hnací hřídele	[mm]
n_1	počet per na hnacím hřídeli	[mm]
M_{k1}	krouticí moment hnacího hřídele	[N/m]
P_{d1}	dovolený tlak pro hnací hřídel	[MPa]
σ_{D1}	dovolené redukované napětí	[MPa]
l_{st1}	styková délka pera	[mm]
S_{p1}	plocha pera pro otláčení - hnací	[mm ²]
$S_{\tau1}$	plocha pera pro střih – hnací	[mm ²]
p_1	namáhání pera na otláčení – hnací	[MPa]
τ_1	namáhání pera na střih – hnací	[MPa]
F_{t1}	tangenciální síla působící na pero – hnací	[N]
σ_{red1}	redukované napětí u pera – hnací	[MPa]
M_{k2}	krouticí moment hnaného hřídele	[N/m]
d_2	průměr hřídele frézky	[mm]
b_2	šířka pera hnací hřídele	[mm]
h_2	výška pera hnací hřídele	[mm]
l_2	délka pera hnací hřídele	[mm]
n_2	počet per na hnacím hřídeli	[mm]
M_{k2}	krouticí moment hnacího hřídele	[N/m]
P_{d2}	dovolený tlak pro hnací hřídel	[MPa]
σ_{D2}	dovolené redukované napětí	[MPa]
l_{st2}	styková délka pera	[mm]
S_{p2}	plocha pera pro otláčení - hnací	[mm ²]
$S_{\tau2}$	plocha pera pro střih – hnací	[mm ²]

p_2	namáhání pera na otláčení – hnací	[MPa]
τ_2	namáhání pera na střih – hnací	[MPa]
F_{t2}	tangenciální síla působící na pero – hnací	[N]
σ_{red2}	redukované napětí u pera – hnací	[MPa]
L	délka hřídele	[mm]
σ_B	maximální napětí hřídele v ohybu	[MPa]
τ_s	maximální smykové napětí	[MPa]
τ	maximální napětí v krutu	[MPa]
σ_T	maximální napětí v tahu	[MPa]
σ_{red}	maximální redukované napětí	[MPa]
f_{max}	maximální průhyb	[mm]
φ	úhel zkroucení	[°]
R	reakční síla zatěžující jedno ložisko	[N]
$R_{2,3}$	reakční síla zatěžující ložiska 2 a 3	[N]
$L_{10,h}$	Základní trvanlivost ložiska	[hod]
L_{10m}	Modifikovaná trvanlivost ložiska	[hod]
a_1	Součinitel pravděpodobnosti havárie ložiska	[-]
P_1	zatížení ložiska	[N]
a_{23}	Součinitel provozních podmínek ložiska	[-]
P	jmenovitý výkon elektromotoru	[W]
P_v	výpočtový výkon elektromotoru	[W]
c_p	součinitel dynamičnosti	[-]
n_1	otáčky elektromotoru	[ot/min]
n_2	otáčky vřetene	[ot/min]
i	převodový poměr	[-]
D_1	průměr malé řemenice	[mm]
D_2	průměr velké řemenice	[mm]
$D_{a,1}$	velký průměr malé řemenice	[mm]
$D_{a,2}$	velký průměr velké řemenice	[mm]
b_{min}	hloubka drážky nad výpočtovou šířkou	[mm]
a_{dop}	doporučená vzdálenost řemenic	[mm]

$L_{p,p}$	předběžná výpočtová délka řemene	[mm]
γ	úhel opásání řemenice	[°]
L_p	výpočtová délka řemene	[mm]
L_h	vnitřní délka řemene	[mm]
L_a	Vnější délka	[mm]
a_{skut}	skutečná osová vzdálenost	[mm]
w	součinitel opásání	[mm]
y	součinitel přisunutí	[mm ²]
a_n	osová vzdálenost při napnutí	[mm]
$P_{id,1}$	ideální výkon převodu s jedním klínovým řemenem	[W]
P_1	skutečně přenositelný výkon jedním řemenem	[W]
c_α	součinitel opásání malé řemenice	[-]
c_L	součinitel vlivu délky řemene	[-]
n_r	počet řemenů	[-]

Úvod

Firma Willer Hockey Equipment (dále též Willer) působí na trhu již od roku 1999. Do roku 2004 vyráběla firma pouze dřevěné čepele, ty se však ukázaly být nedostačující jak váhově, tak i pevnostními vlastnostmi. To firmu vedlo k postupnému vylepšování technologie výroby čepelí, a proto v roce 2005 na trh uvedla kompozitovou čepel 05 a následně pak i karbonovou čepel 06.

Dnes jsou hlavními produkty firmy Willer Hockey Equipment v první řadě karbonové čepele 06 a dále pak hybridní čepel 04.

Zvyšující se poptávka na trhu po těchto produktech znamená samozřejmě úspěch firmy, na straně druhé však s sebou přináší požadavek neustálého optimalizování technologických procesů a zkracování výrobních časů.

Díky velkým zakázkám pro zahraniční odběratele proběhlo ve firmě reorganizování pracovních prostor a přibyly zde nové stroje. Jeden z těchto strojů má být také kopírka na hokejové čepele. Kopírka má ve výrobě nahradit neprogresivní metodu broušení polotovaru čepele na pásových bruskách. Tato původní metoda je nevýhodná hned z několika důvodů. Jako hlavní nedostatky vidím nadměrnou prašnost při výrobě, kterou nelze regulovat odsáváním a dlouhé výrobní časy v kombinaci s poměrně velkou náročností na obsluhu.

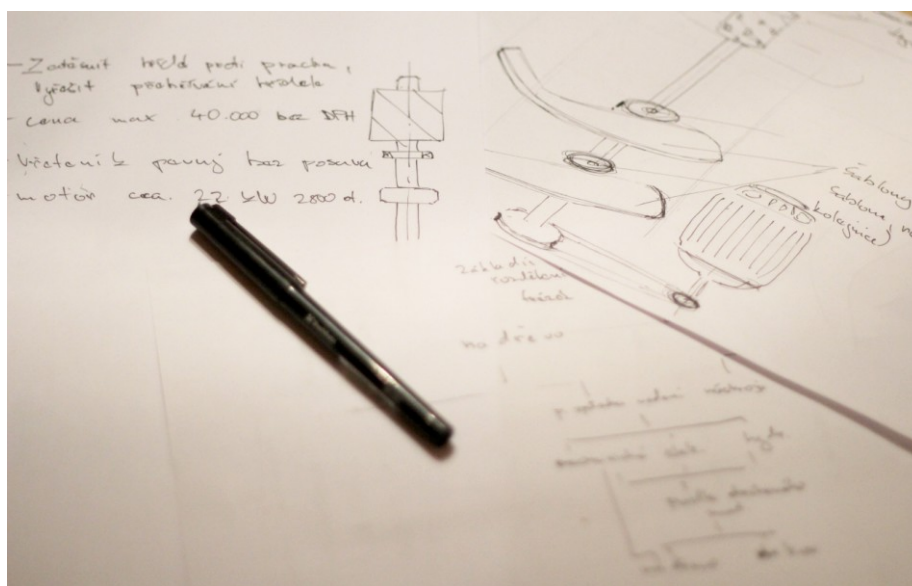


Obr. č. 1 - Willer

1. Požadavky na provedení – informace z konzultací s firmou Willer, možná omezení

Zadání:

- kopírovací fréza na hrubé opracování polotovaru hokejové čepele
- konstrukce jeklová
- pracovní deska ocel plech cca 20mm broušený bez odlehčovacích drážek
- vřeteník pevný bez vertikálního posuvu hřídel 30mm
- motor cca 2,2kw 2800ot/min regulace ot. frekvenční měnič
- frézovací hlava s výměnnými destičkami (žiletky) ze slinutého karbidu
- vymyslet systém uchycení čepele pro frézování
- cena do 50.000 Kč vč. DPH
- zatěsnit hřídel vůči abrazivnímu prachu, vymyslet způsob jak eliminovat přehřívání hřídele při utěsnění



Obr. č. 2 - Zadání



Obr. č. 3 - Polotovár hokejové čepele



Obr. č. 4 - Výsledný produkt – hokejová čepel Willer Hockey Equipment 06

2. Rešerše

Mým úkolem je vymyslet již výše zmíněný jednoúčelový kopírovací stroj na hokejové čepele. Jednotlivé čepele ve firmě Willer jsou rozděleny na 6 základních modelů. Liší se použitými materiály při výrobě a to od dřeva až po karbonové vlákno.

Jedná se o návrh jednoúčelového stroje, který se bude podobat svým principem kopírovacím frézám na dřevo, s tím rozdílem, že bude namísto dřeva obrábět směs plastu a kompozitních materiálů.

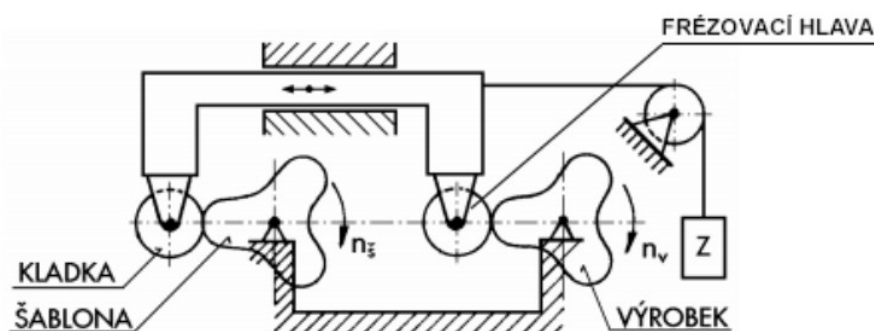
U obrábění kompozitních materiálů a plastů je potřeba dobře zvolit nástroj a otáčky, tak aby se špony nelepily k fríze, což by způsobilo porušení nástroje a nehezky vypadající obrobený povrch.



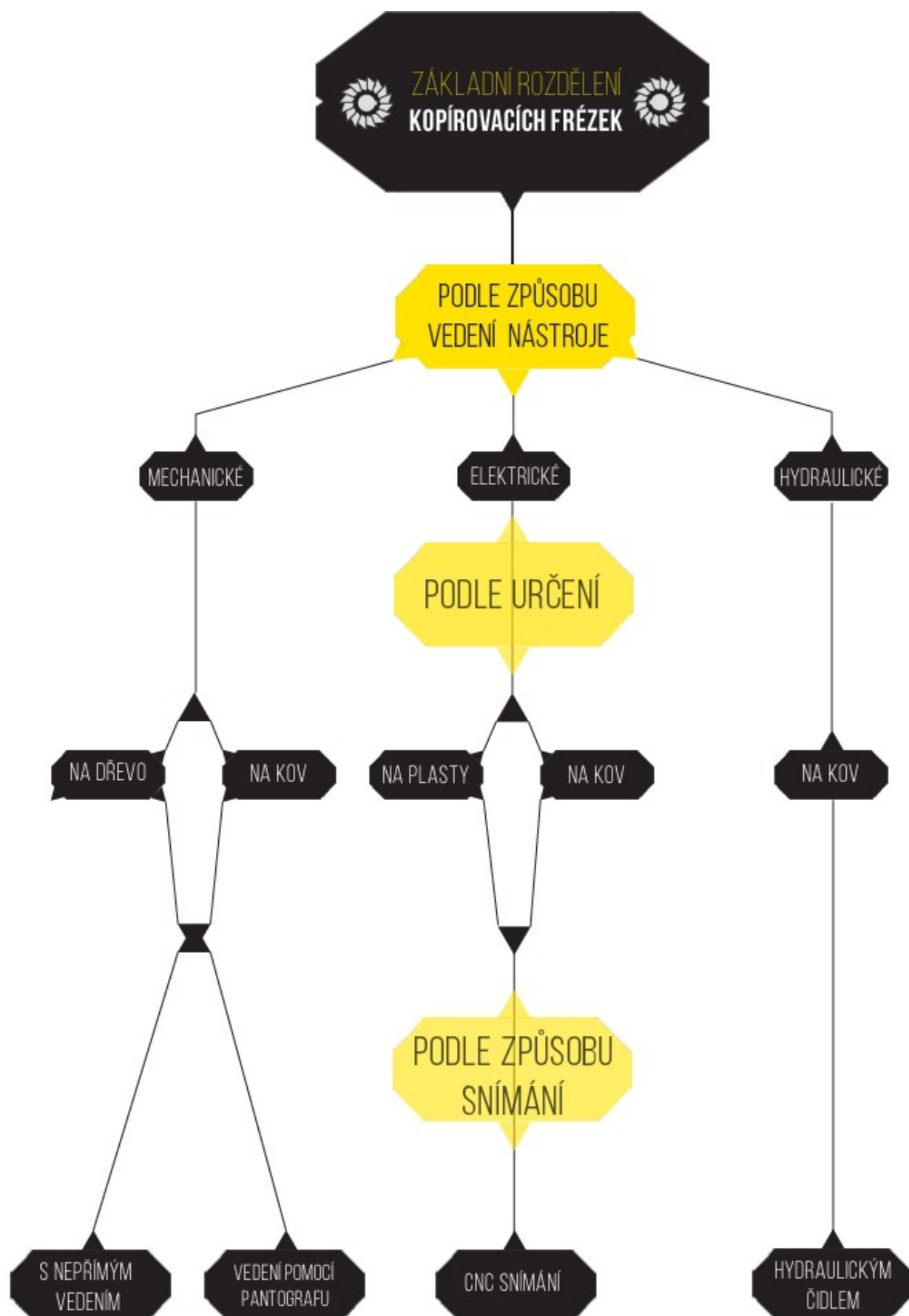
Obr. č. 5 - Skladba čepele Willer 06 [6]

Kopírovací frézky na dřevo jsou stroje, k frézování nepravidelných ploch podle vzorové šablony. Podle způsobu, kterým frézka kopíruje tvar šablony, jsou kopírovací frézky mechanické, elektrické a hydraulické.

Předlohová šablona bývá zhotovena z pevnějšího otěruvzdorného materiálu, jelikož hrozí opotřebení třením, nebo přitlačnými silami vyvíjenými od kladky, princip (viz. Obr. č. 6.)



Obr. č. 6 - Základní princip mechanické kopírovací frézky [7]



Obr. č. 7 - Schéma rozdělení základních typů kopírovacích frézek

2.1 Mechanická frézka s nepřímým vedením na dřevo

Jednoduchá konstrukce dovoluje frézce operovat ve třech osách. Jako ovládací pohon pohybu ústrojí slouží lidská síla. Konstrukce spočívá v tom, že frézovací a snímací hlava jsou upevněny na stejné hřídeli, důležité je ustavit vůči sobě obráběný polotovár a kopírovanou součást. Pak už stačí jen jezdit snímací kuličkou po povrchu kopírované součásti a fréza přesně kopíruje tvar předmětu.

Konstrukce umožňuje upnout obrobek i šablonu do sklíčidel, čímž získáme o dimenzi navíc. Slouží ke dvourozměrnému a trojrozměrnému kopírování předmětů.

Využití nejvíce pro kopírování reliéfů, sošek, dřevěných těl zbraní, nohy nábytku apod.

Tab. č. 1 – Základní specifikace frézky Wivamac [8]

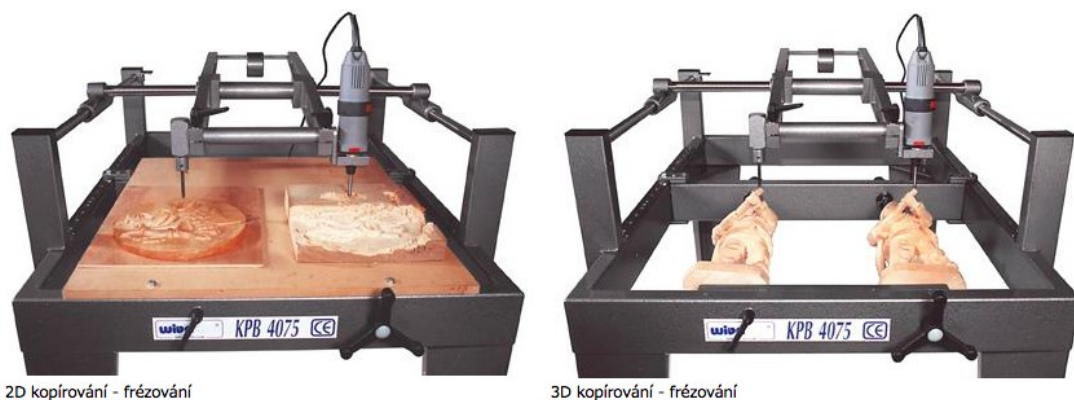
Typ	motor	pracovní šířka	pracovní délka	rozsah otáček	hmotnost kg
KPB 2545	-	250 mm	450 mm		38
KPB 2545EL	800 W	250 mm	450 mm	8000 - 26000	40

Základní informace od výrobce:

- kopírovací frézky WIVAMAC jsou tuhé konstrukce s přesným vedením pojezdové jednotky
- replika i originál rotují souběžně díky přesnému řetězovému převodu
- stolní typ KPB2545 je osazen univerzálním, nebo průmyslovým motorem
- ostatní typy jsou osazeny průmyslovým motorem, nebo třífázovým vysokofrekvenčním motorem
- výklopná jednotka s motorem umožňuje přístup i do těžko dostupných míst
- kuličkové vedení pojezdové jednotky
- sklíčidlo 8 mm umožňuje použití standardních fréz



Obr. č. 8 – Kopírovací frézka s nepřímým vedením firmy Wivamac [8]



Obr. č. 9 – Kopírovací frézka Wivamac [8]

2.2 Mechanická frézka s nepřímým vedením na hliníkové profily








Tyto frézky se využívají ke kopírování výřezů v hliníkových profilech. Nejčastěji se používají ve výrobě plastových oken a dveří. Můžou však mít uplatnění i v jiných odvětvích strojírenství. Princip je podobný jako v předešlém případě, frézka je spolu se snímacím kolíkem na stejném rameni, tudíž kopíruje pohyb snímaný kolíkem a přenáší jej na frézovací hlavu, ta pak obrábí hliníkové nebo plastové profily.

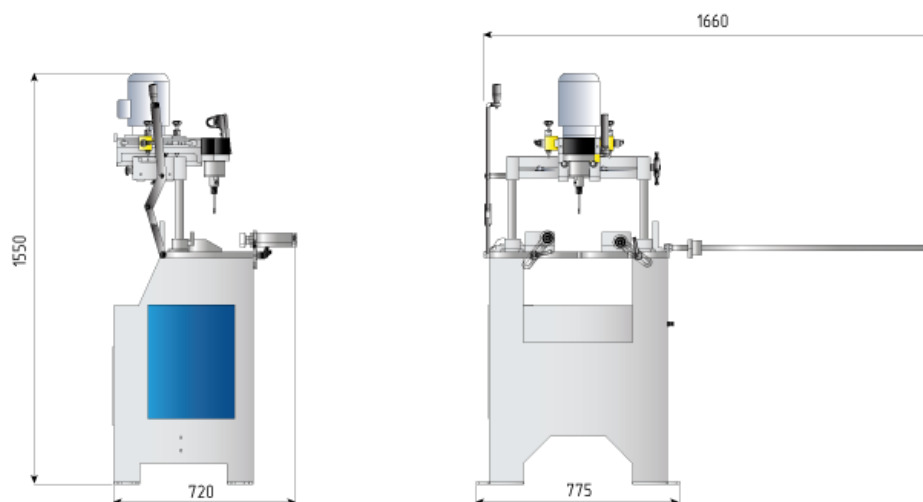
Nejčastěji se používá pro frézování montážních otvorů pro panty a kování v rámech plastových oken.

Základní informace od výrobce:

- Horizontální pneumatické upínání
- Nastavitelná hloubka provozu
- Hlava je uzpůsobena na práci s jakýmkoli typem hliníku a PVC

Tab. č. 2 – Základní specifikace frézky Ozgenc OMRM 117P [9]

OMRM 117P	FEATURES																						
			Hz	RPM	Kw	V	Kw	Bar	Air consumption (lt/min)	Kg	H (mm)	W (mm)	D (mm)	L (mm)	ØD1 (mm)	ØD2 (mm)	n (1/min)	X	Y	Z	h min (mm)	h max (mm)	a min (mm)
	50	2810	1,1	380	1,1	6-8	9	110	1550	775	720	80	5	8	11000	280	125	90	40	110	-	130	



Obr. č. 10 - Frézka Ozgenc – základní rozměry [9]



Obr. č. 11 - Kopírovací frézka hliníkových profilů firmy Ozgenc [9]

2.3 Frézka s nepřímým mechanickým vedením za pomoci pantografu

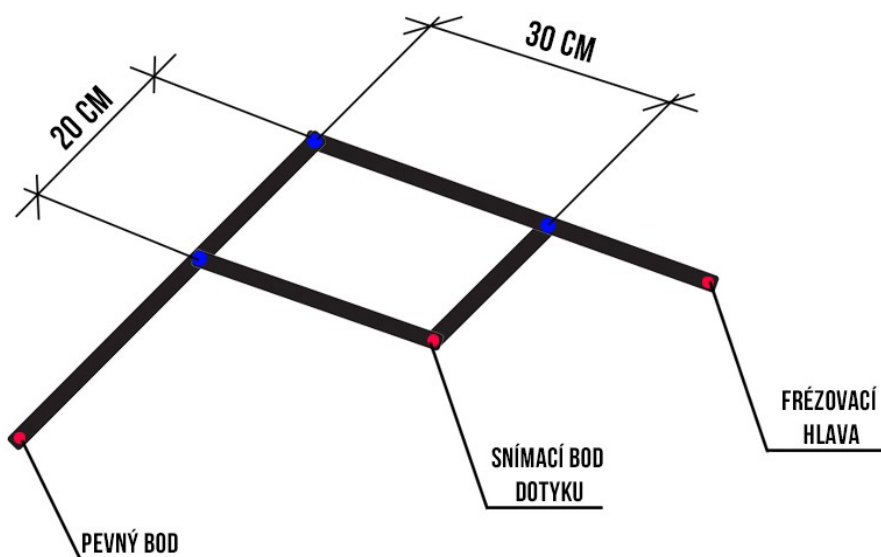
Pantografické frézky využívají kopírování na principu pantografického zařízení, které podle předlohy přenáší za pomoci ramen stejnou trajektorii z šablony na frézovací hlavu. Frézovací hlava potom obrobí polotovaru do stejného tvaru šablony.

Je možné dělat dvojrozměrné i trojrozměrné kopie, stejně tak je možné u některých typů frézek měnit i měřítko kopírovaného výrobku vzhledem k šabloně. Většina typů kopírovacích frézek využívajících tohoto principu jsou určeny k obrábění dřeva, jsou však typy frézek využívajících tento princip na kopírování kovových obrobků.

Vysvětlení pojmu pantograf

Pantograf je mechanické zařízení, které umožňuje výsuvný pohyb a několikanásobné zvětšení své délky v jednom směru. Skládá se ze soustavy spojených pák, které tvoří jeden nebo několik kosočtverců.

Původně byl pantograf pomůcka při rýsování, což vyjadřuje i etymologický význam slova. Pantós je genitiv řeckého slova pas = všechen, gráfos je činitelské jméno od slovesa gráfo = píšu, škrábu, kreslím. Metaforicky se název přenesl na označení samotného technického principu a dále na jiné způsoby jeho využití.



Obr. č. 12 - Základní princip pantografu

2.3.1 Mechanická na kov s vedením za pomoci pantografu



Obr. č. 13 - Kopírovací frézka Deckel KF12 Pantograph [10]

Pantografická frézka Deckel KF12 je typický příklad využití mechanického principu pantografu na obrábění kovových obrobků. U tohoto typu frézky je možné nastavovat měřítko výstupní kopie vzhledem k předloze.

Tab. č. 3 – Základní specifikace frézky Deckel KF12 Pantograph [10]

Pracovní prostor	450 x 450 mm
Kopírovací podložka	250 x 700 mm
Měnitelné měřítko	1:1 - 1:4
Motor pohonu	750 W
Otáčky	60-20.000 rpm
Rozměry	1.300 x 1.000 x 2.000 mm
Váha	1.500 kg

2.3.2 Mechanická na dřevo s vedením za pomoci pantografu

Kopírovací frézka na dřevo vlastní konstrukce podle návodu tzv. DIY (do it yourself) je důkazem, jak jednoduše lze princip pantografického snímání aplikovat.

Myslím, že konstrukci takové frézky podle návodu, by zvládl každý šikovnější domácí kutil a přitom může být takový stroj velice nápomocen.

Jako pohon frézy je použita horní frézka Bosch Colt o výkonu 600 W, jako alternativu lze využít obdobné horní frézky od jakéhokoli průmyslového výrobce na trhu (Makita, Dewalt, Narex...)



Obr. č. 14 - Kopírovací frézka na dřevo – DIY řešení [11]

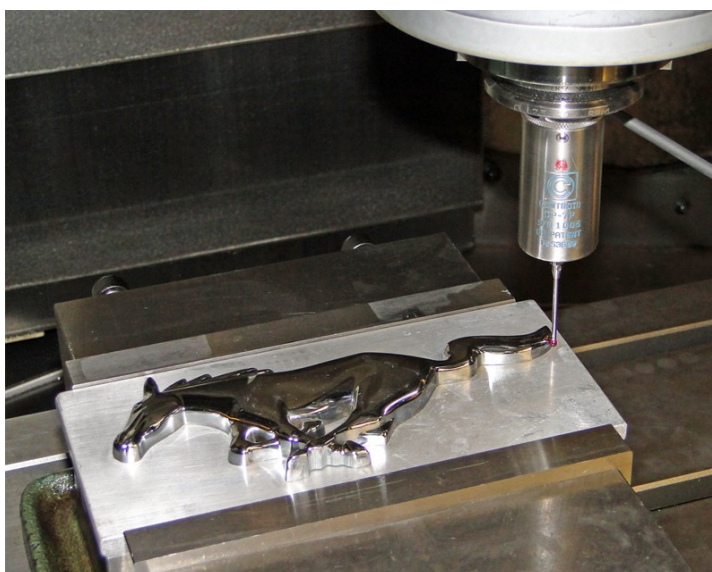


Obr. č. 15 - možná alternativa pohonu - Horní frézka Makita [12]

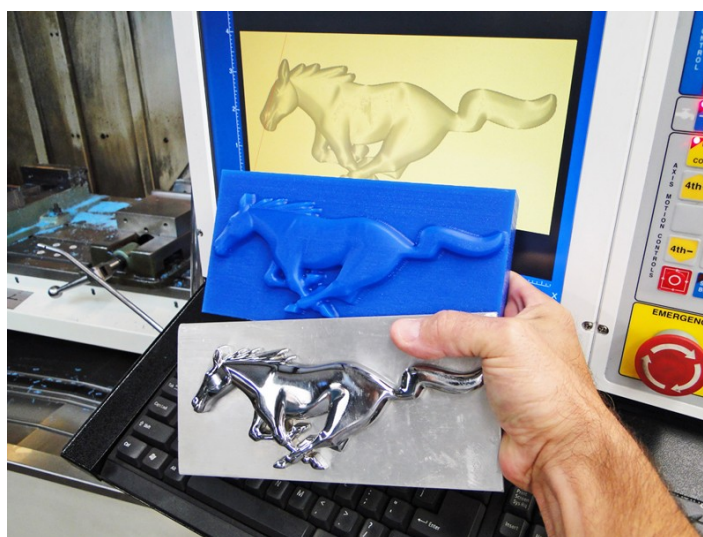
2.4 Kopírovací frézka s nepřímým elektrickým vedením

Tyto frézky jsou složeny z frézovací hlavy ovládané počítačem ve 3 osách, druhá část stroje je opatřena snímací kuličkovou hlavou, která digitalizuje vložený předmět principem dotykového skenování. S kuličkovou hlavou jezdí serva a skenují daný předmět, dotýká se součástí bod po bodu, tím vytvoří síť bodů, ze které je počítač schopen sestavit G kód součástí.

Sken je poté odeslán na počítač ovládající frézovací hlavu, která obrobí polotovar do totožného tvaru, výhodou je možný výběr měřítka, nebo dodatečné digitální úpravy naskenovaného souboru.



Obr. č. 16 - snímací hlava DP-7 CentroidCNC při digitalizování předlohového výrobku [13]

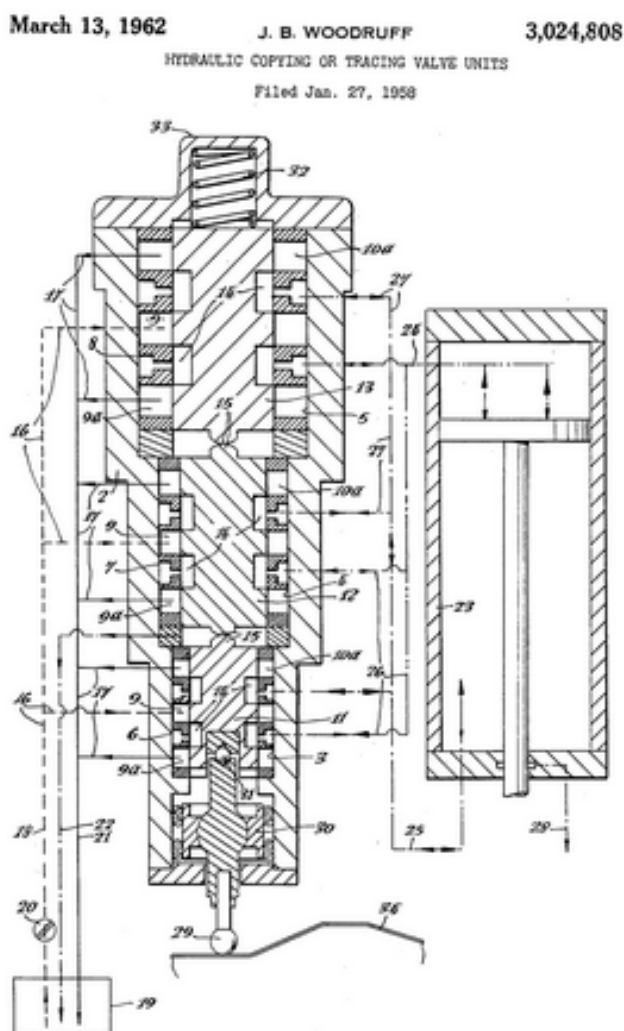


Obr. č. 17 - Předloha, výrobek a digitalizovaný obraz [13]

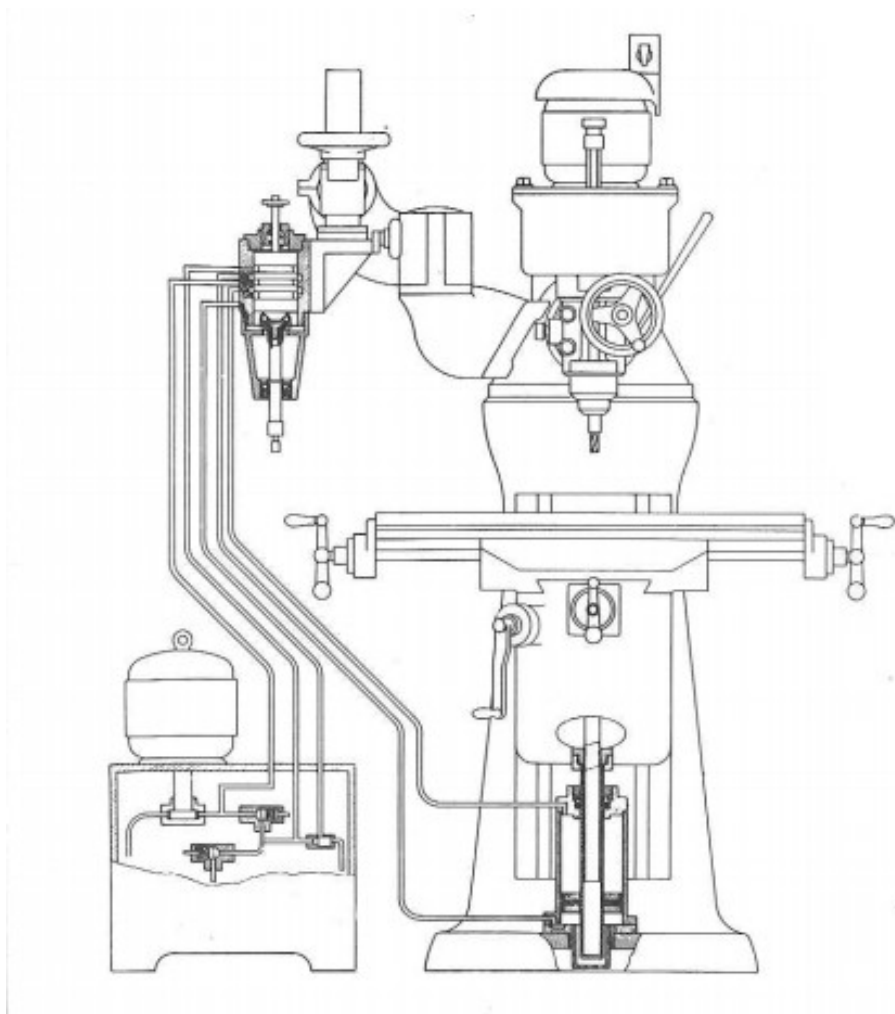
2.5 Hydraulická kopírovací frézka

Snímací hlava snímá, jako většina kopírek, tvar kopírovaného předmětu kuličkovou hlavou. Ta je jako píst spojena s hydraulickou jednotkou, která za pomoci soustavy ventilů přenáší hydraulickým signálem pohyb na stůl frézky. Tento typ frézek je využíván k obrábění kovů, převážně pak v automobilovém průmyslu, a byl využíván především v období od roku 1960 do roku 1980, kdy poté byl nahrazen progresivnějšími a variabilnějšími metodami jako jsou NC a CNC stroje.

Princip, na kterém funguje tato frézka je ochráněn patentem číslo [US3024808 A](#).



Obr. č. 18 - US Patent hydraulické snímací hlavy pro kopírovací stroje [14]



Obr. č. 19 - Schéma hydraulické kopírovací frézky Sterling Machinery [15]



Obr. č. 20 - Detail snímacího mechanismu hydraulické kopírovací frézky od firmy Mimik Tracer [16]

3. Vlastní návrh

V řešení vlastního návrhu vycházím ze zadání od firmy Willer Hockey Equipment. Při řešení jsem využil informace uvedené v rešerši.

Směrodatným kritériem pro můj návrh je jednoduchost a cena. S ohledem na skutečnost, že stroj má vydržet v provozu 40 hodin týdně, jeho konstrukce by měla být co nejjednodušší při maximální funkčnosti, aby nedocházelo ke zbytečným závadám, a to vše při maximální výrobní ceně 50.000 Kč. V neposlední řadě by mělo být lehké stroj obsluhovat, aby nebylo potřeba zdlouhavě zaškolovat personál na jednoúčelovém stroji.

To je otázka jak konstrukce, tak i použitých materiálů. Jednoduchým návrhem bych chtěl také docílit toho, aby byl stroj co nejméně náročný na údržbu, což je v zaběhlé firmě jako je Willer Hockey Equipment velmi důležité a jakákoliv nutnost oprav nebo údržby znamená prodlevy ve výrobě.

Na obrázku č. 21. je vidět vlastní návrh kopírovací frézky. Ta sestává ze dvou hlavních částí, pevného frézovacího stolu a pohyblivé upínky. Hnacím ústrojím stroje je pak elektromotor, který pohání vřeteno řemenovým převodem. S upínkou se manipuluje manuálně. V této kapitole popíši jednotlivé části stroje, jejich konstrukční řešení a použité materiály.



Obr. č. 21 - Vlastní návrh kopírovací frézky

3.1 Základní parametry stroje

Napětí: 380 V

Motor: 2,2 kW

Základní rozměry:

Jmenovité otáčky na hřídeli: 9500 ot/min

(Později upraveno na 6500 ot/min)

Počet SK plátků: 20 Ks (později
upraveno na 28 ks)

Typ rámu: ocelový svařenec

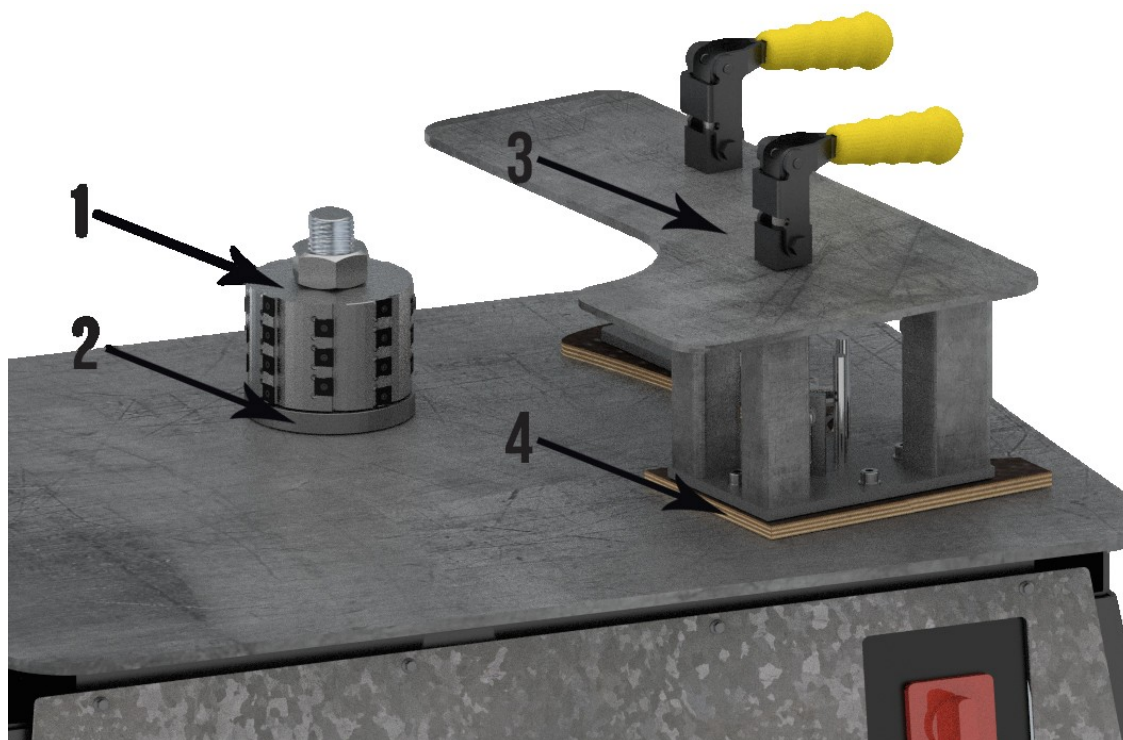
Počet vyrobených ks za hodinu: 120 Ks

3.2 Typ konstrukce

Vzhledem k rozpočtu a zadání od firmy Willer Hockey Equipment, a z důvodu zachování co největší jednoduchosti stroje volím variantu, kdy je frézovací hlava (tzv. kukuřice) pevně uložena na vřetenu stroje (má pouze jeden stupeň volnosti a to rotaci kolem osy). Pohyblivá je upínka, která klouže za pomoci lidské síly po pracovním stole.

Upínka přenáší za pomoci kopírovacího kroužku a šablony frézovací hlavou tvar předlohové šablony na upnutou obráběnou čepel. Toto řešení se mi jevilo jako nejjednodušší a zároveň nejlevnější.

Jak ukázal čas, je také velmi spolehlivé. A po vyladění chodu stroje téměř bezúdržbové.



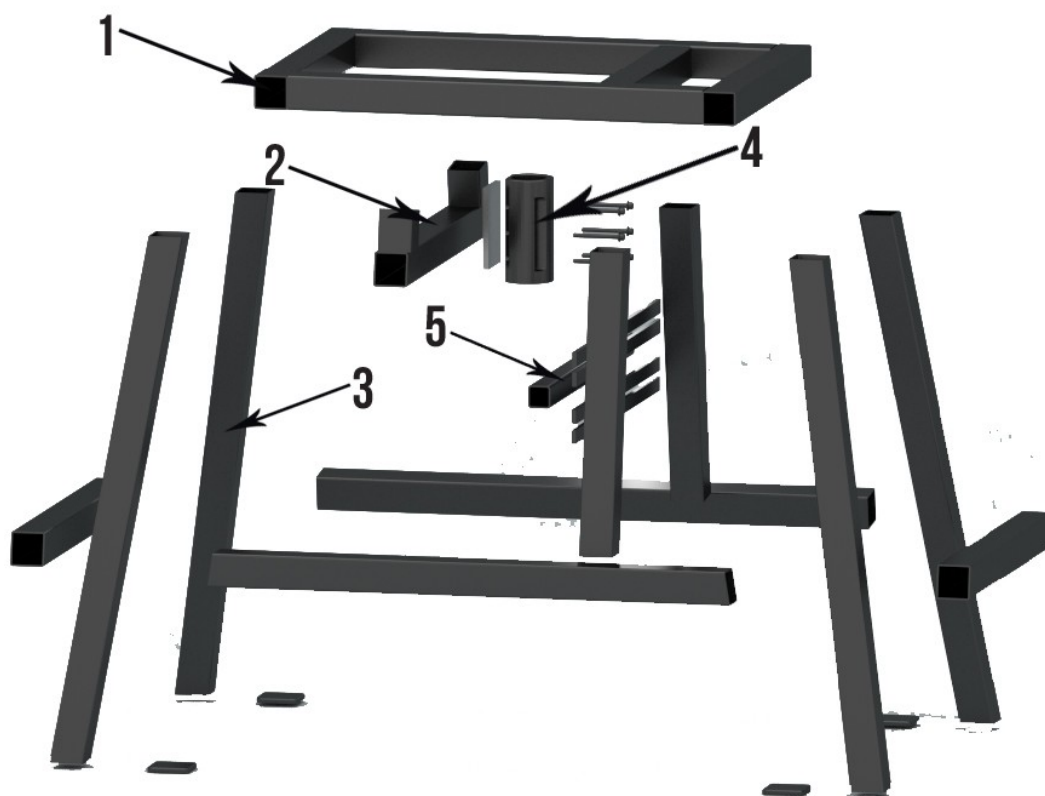
Obr. č. 22 – popis základních částí stroje

Legenda:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. Frézovací hlava | 3. Upínka čepelí |
| 2. Kopírovací kroužek | 4. Předlohová šablona |

3.3 Rám

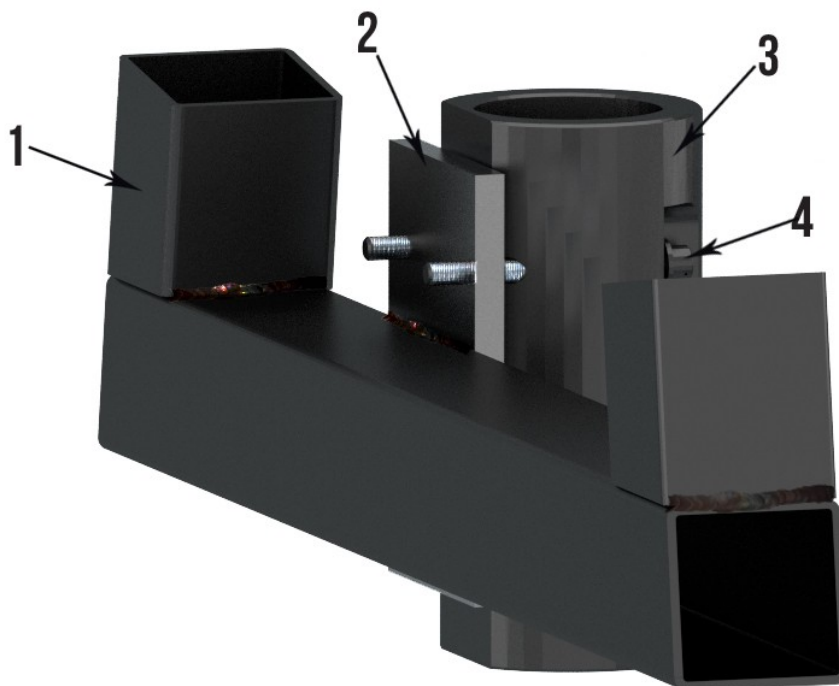
Rám je svařenec jednoduché samonosné konstrukce, který je tvořen převážně z normalizovaných ocelových profilů. Hlavními použitými profily jsou čtvercové bezešvé trubky a ploché tyče. Po svaření je rám ošetřen ochranným antikorozním nátěrem.



Obr. č. 23 – popis základních částí rámu

Legenda:

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Horní rám | 3. Hlavní podstavný rám |
| 2. Část pro závěs pouzdra pro uložení
hřídele | 4. Pouzdro pro uložení hřídele |
| | 5. Závěs pro elektromotor |



Obr. č. 24 – detail uchycení pouzdra hřídele k rámu

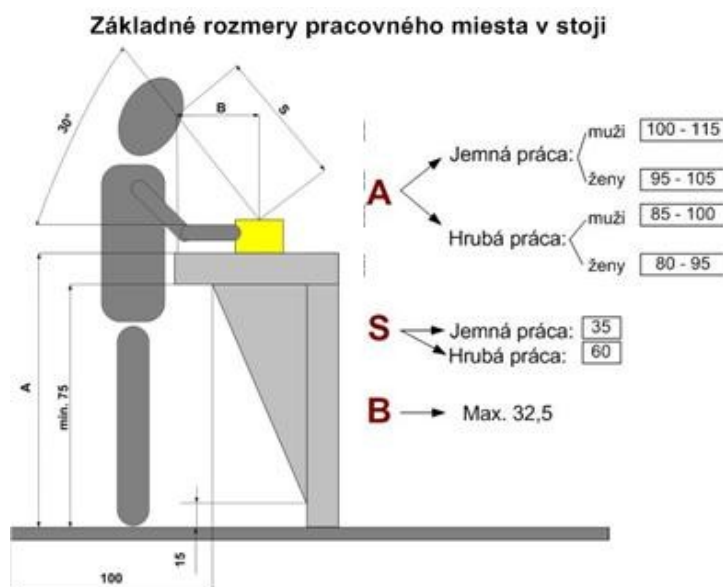
Legenda:

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Část pro závěs pouzdra pro
uložení hřídele | 3. Pouzdro pro uložení hřídele |
| 2. Podkladový plech | 4. Šrouby 6 ks |

Abychom zajistili kolmost mezi horním rámem (pracovní deskou) a hřídelem, bylo nutné svařit podkladový plech s rámem v úhlové šabloně (za použití svařovacích upínek, úhlových kostek atp.). Podkladový plech je 1 cm tlustý, aby vlnění vlivem tepla ze svařování bylo co nejmenší. Po svaření je nutné vyvrtat díry se závity pro pouzdro hřídele podle pouzdra pro uložení hřídele, které již díry má vyrobeny. Pouzdro pro hřídel má taktéž frézovanou dosedací hranu, aby dokonale dosedlo na podkladový plech přivařený k rámu, vše je k sobě připevněno šesti šrouby M8x60 mm.

3.3.1 Ergonomie pracovního místa ve stoje

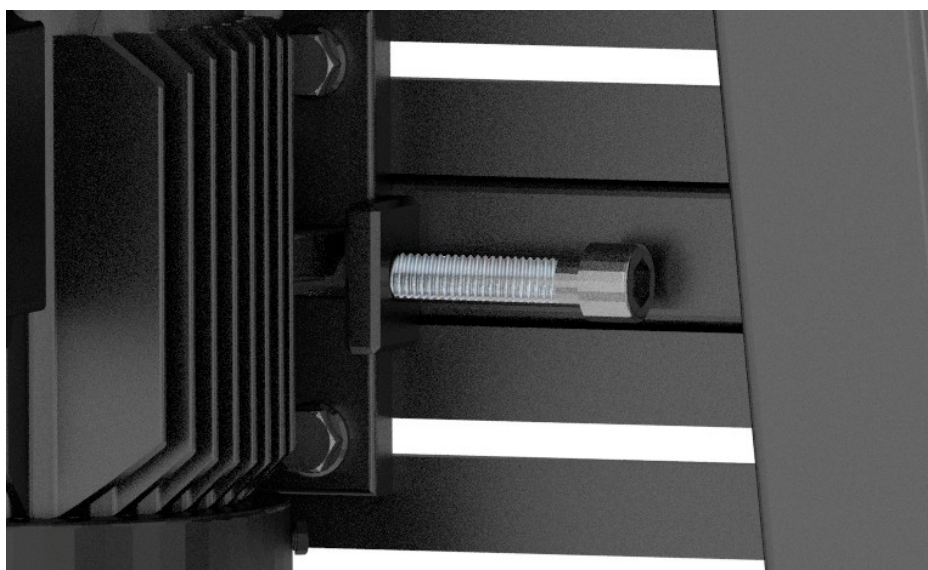
Z ergonomie pracovního místa ve stoje vychází, že by optimální výška měla být mezi 800 až 1000 mm. Je důležité uvažovat nad ergonomií, zejména proto, že upínka na čepele váží jako celek 5,8 Kg a tudíž nižší deska zajistí snazší a pohodlnější manipulaci. Když beru v úvahu, že zaměstnanci firmy jsou převážně ženy, volím výšku pracovní desky stroje vzhledem k základně na 970 mm.



Obr. č. 25 – Ergonomie pracovního místa ve stoje [17]

3.3.2 Uchycení motoru

Motor je zavěšen na 4 obdélníkových profilech čtyřmi šrouby a při povolených šroubech je axiálně pohyblivý. Konstrukce je vybavena jednoduchým napínákem řemenu viz. Obr. č. 26. Napínák posune motor, tím napne řemen, napínací šroub se zakončuje kontramaticí a šrouby připevňující motor k rámu dotáhnou.



Obr. č. 26 – Uložení motoru a napínák řemenu

3.4 Uložení hřídele

Hřídel je navržena konstantního průměru 30 mm bez zápichů a změn průměru. Nechtěné vruby by mohly narušit pevnost materiálu a v porušených místech by mohla hřídel praskat. Materiál hřídele je ocel 15230.7, ten jsem volil, jelikož přenášené otáčky na hřídeli budou 9500 ot/min, což je poměrně hodně a nehoda jako prasklina na hřídeli a podobné by mohly mít vážné následky.

Konstrukce sestavy hřídele je zespod zajištěna pojistným kroužkem, z vrchu stáhnutá maticí, z toho důvodu je hřídel ve spodní části pod pojistným kroužkem zploštěna na klíč 24 mm, aby bylo možné zamezit pohybu hřídele při dotahování horní matice M30.

Ve spodní části hřídele je drážka pro pero sloužící k přenosu momentu od řemenice.

Kopírovací kroužek je uložen nezávisle vzhledem k rotaci hřídele na ložisku.

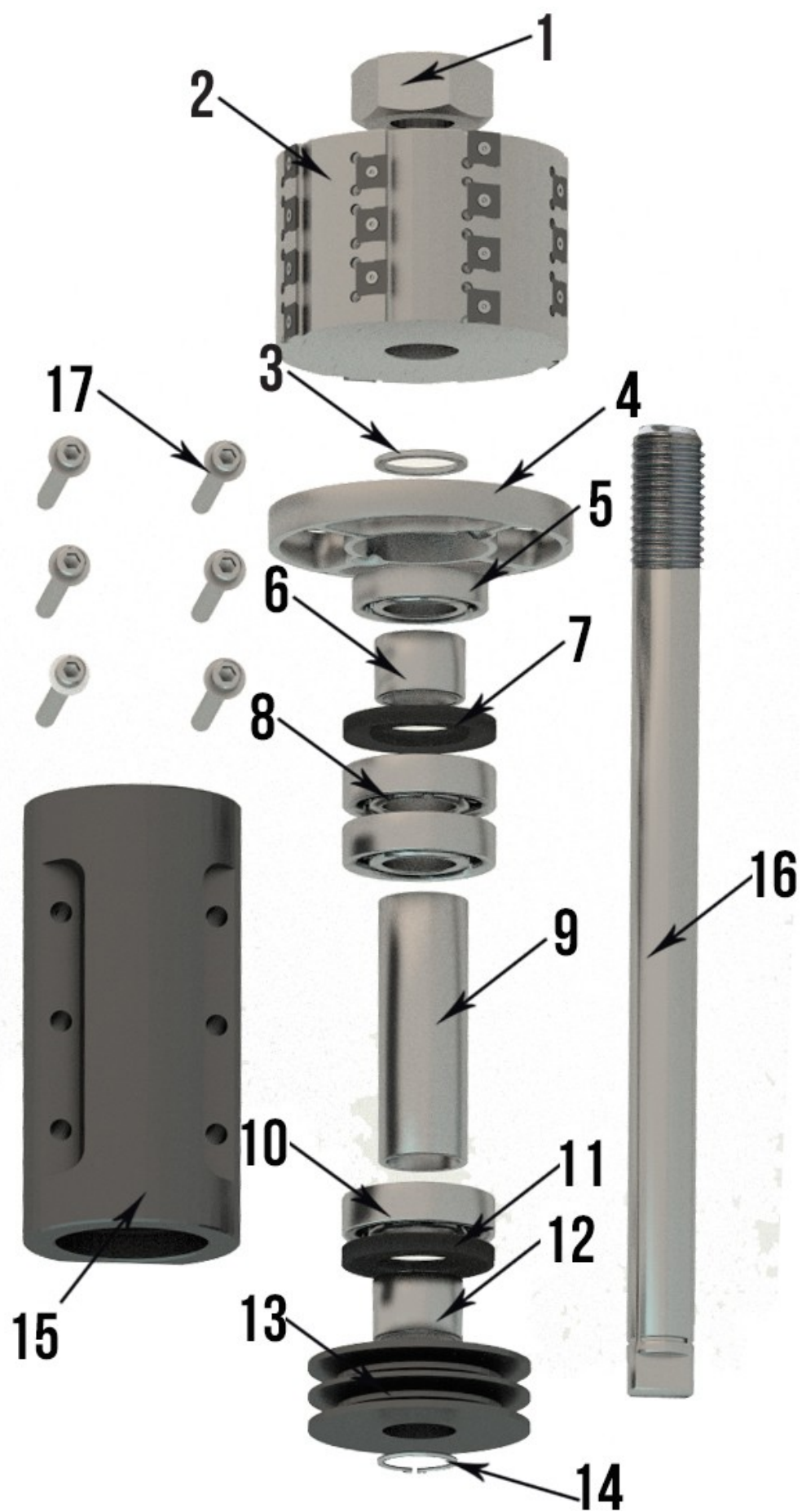
Mezi jednotlivými ložisky jsou distanční vložky s broušenými čely, aby nedošlo ke „křížení“ ložisek, a tak k jejich rychlému opotřebení a výkonovým ztrátám.

Uložení v pouzdru pro uložení hřídele je z obou stran ukončeno dvoubřitými guferý, která jsou přetáhnuta přes příslušné distanční vložky, aby nebyla gufera v přímém kontaktu s rotující hřídelí.

Frézovací hlava je vlastní konstrukce, je vybavena 28 břitovými destičkami SMG-02.

Tato konstrukce hřídele se i po čase projevila jako velice spolehlivá, až na pár změn (uvedených v kapitole č. 4 Reálná konstrukce) funguje sestava vřeteně bezproblémově.

Detailní provedení konstrukce uložení hřídele je znázorněno na obrázku č. 27 – Sestava uložení hřídele.



Obr. č. 27 – Sestava uložení hřídele

Legenda:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1. Matice M30 | 10. Ložisko SKF 6206 C3 |
| 2. Frézovací hlava | 11. Dvoubřité gufero |
| 3. Distanční vložka 5 mm | 12. Distanční vložka 22 mm |
| 4. Kopírovací kroužek | 13. Malá řemenice 90 mm |
| 5. Ložisko SKF 6006 2RZ2 | 14. Pojistný kroužek |
| 6. Distanční kroužek 22 mm | 15. Pouzdro pro uložení hřídele |
| 7. Dvoubřité gufero | 16. Hřídel |
| 8. Ložiska SKF 6206 C3 2 ks | 17. Šrouby M8 x 60mm 6 ks |
| 9. Distanční kroužek 128 mm | |

3.5 Upínka

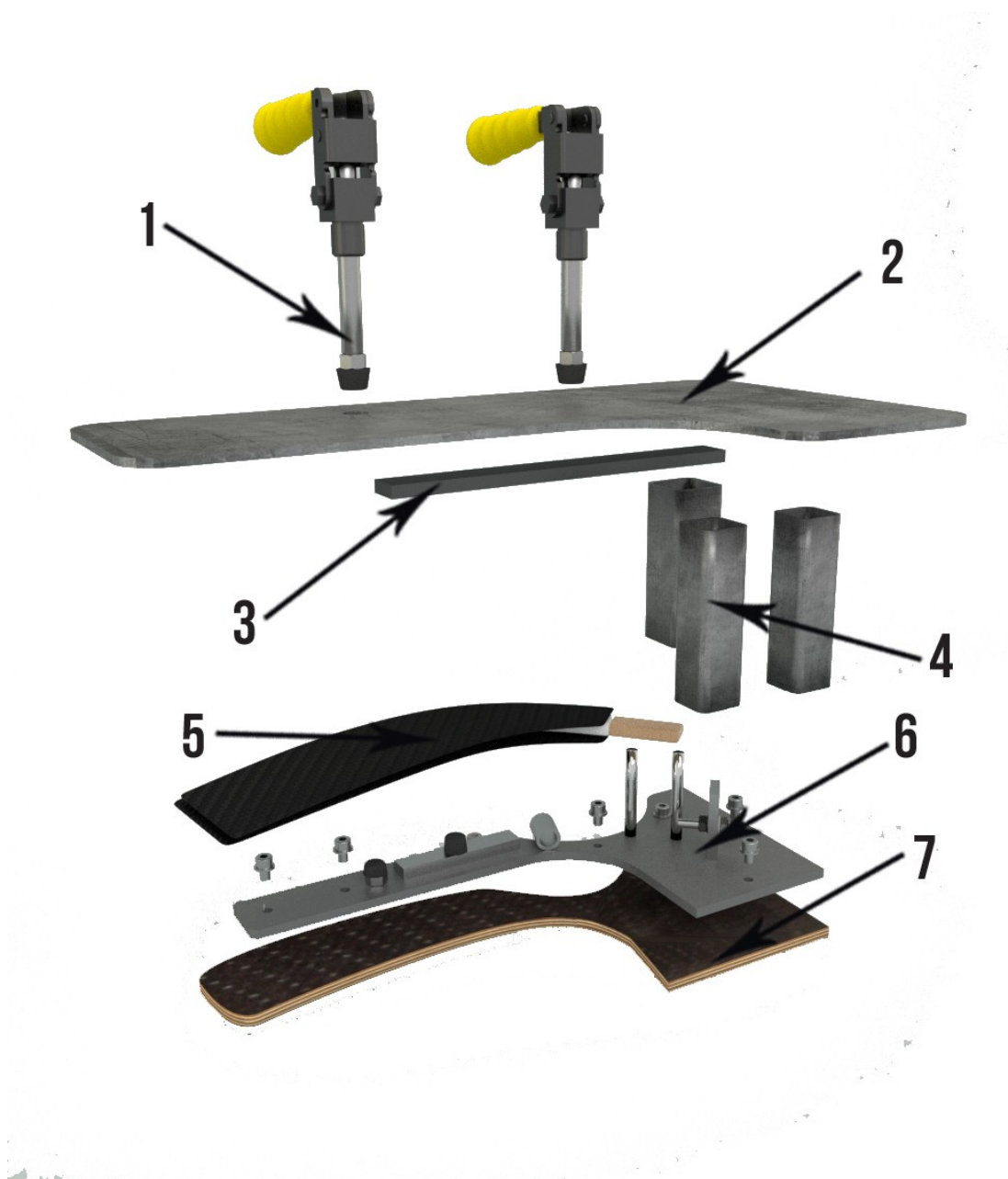
Upínka je tvořena rámem, což je ocelový svařenec, spodní šablonou, dvěma stavěcími kolíky, stavěcím šroubem a dvěma průmyslovými upínkami od firmy JC Metal.

Konstrukce upínky je uzpůsobena tak, že výměna kusu trvá přibližně 8 vteřin. Do upínky je možno upnout jak levou tak pravou čepel, musí se však vyměnit pryžové dorazy. Poptávka na trhu je v průměru z 80% po čepelích na levou stranu, takže je upínka převážně nastavena na levé čepele.

Váha celé upínky činí 5,8 Kg. Spodní šablona je vyrobena z voděodolné překližky a je vyměnitelná.



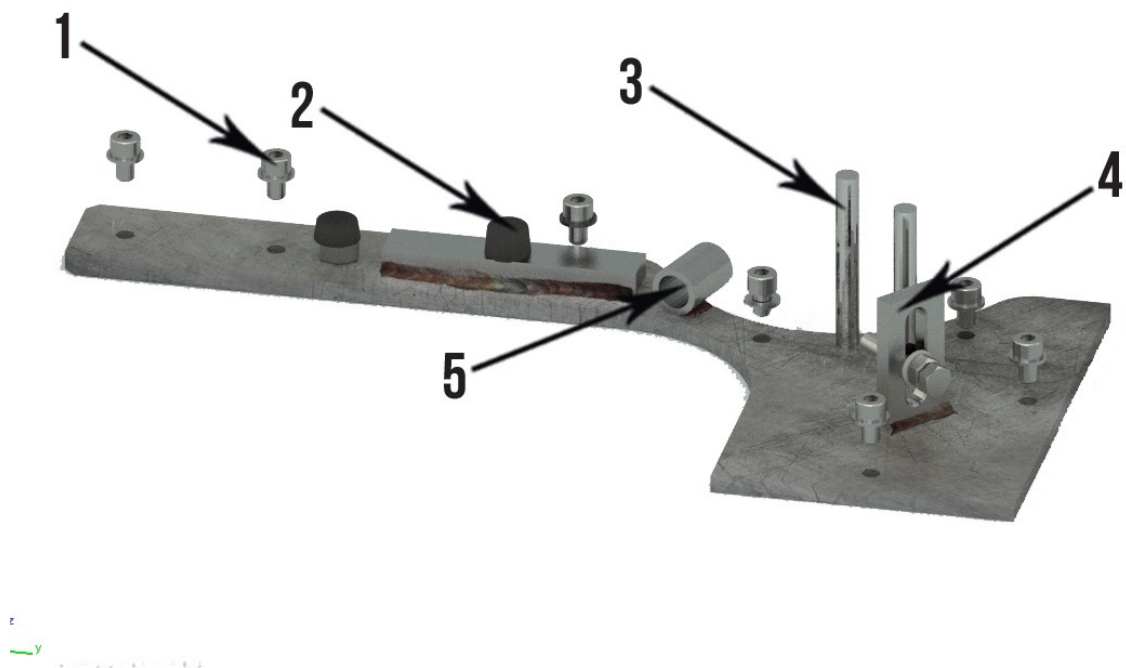
Obr. č. 28 – Upínka



Obr. č. 29 – Náhled na konstrukci upínky

Legenda:

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1. Upínka JC Metal typ 365 2 ks | 5. Polotovar čepele |
| 2. Horní deska | 6. Základna upínky |
| 3. Výztuha | 7. Šablona |
| 4. Vztyčné profily | |



Obr. č. 30 – Detail základny upínky

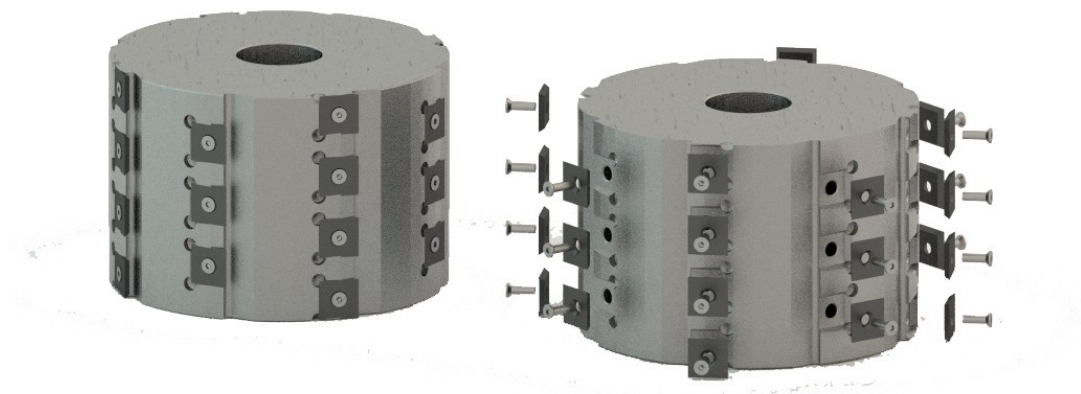
Legenda:

- | | |
|------------------------------|------------------|
| 1. šrouby 7 Ks | 4. Stavěcí šroub |
| 2. Pryžové dopínací elementy | 5. Kulatina |
| 3. Stavěcí kolíky | |

Pryžové elementy na základně upínky zajišťují, že nedojde k otlacení nebo jinému poškození čepele, zároveň mají dobrou přilnavost, což zajistí, že nedochází k nechtěnému posuvu čepele v upínce při frézování. Pryžové elementy tlumí vibrace, takže čepel při obrábění v upínce nevibruje.

Čepel je potřeba pořádně usadit na doraz až ke stavěcím kolíkům a stavěcímu šroubu, v opačném případě vznikají už při sebemenším vychýlení při upínání nechtěné zmetky. Po zkušebním provozu se ukázalo, že je v horní desce upínky potřeba vyřezat otvor „okýnko“ pro lepší viditelnost při upínání čepelí. Viz kapitola 4.1.5 Změna na upínce.

3.6 Frézovací hlavy



Obr. č. 31 –Navrhnutá frézovací hlava



Obr. č. 32 –Původní frézovací hlava Karned Tools [18]

Frézovací hlava je opatřena 28 plátky ze slinutých karbidů v řadách střídavě tak, že úběr celkové třísky je souvislý a tvoří rovný povrch. Frézovací hlava na obrázku č. 31. Je vlastní konstrukce a není původní. Je zhotovena na zakázku ze superduralu.

První na stroji byla zkoušena frézovací hlava firmy Karned Tools na obrázku č. 32 s uložením řezných plátek ve šroubovici. Tato fréza měla 20 řezných plátek, 5 v každé ze čtyř řad, což se ukázalo nedostačující a na fríze bylo po 600 obrobených kusech patrné velké poškození. Více o frézovacích hlavách v kapitole 4.1.1 Změny na frézovací hlavě.

3.7 Odsávání

Odsávání je vyrobeno z ohýbaných pozinkovaných plechů tloušťky 2mm. Plechy jsou k sobě snýtovány. Lapač odsávacího ústrojí ústí v kruhovém osazení na odsávací hadici. Odsávaný prach je napojen odsávací hadicí na centrální odsávání ve firmě, které ústí přes uhlíkový filtr do sběračů.



Obr. č. 33 – Návrh odsávání

4. Reálná konstrukce

Vzhledem k tomu, že troj byl postaven v průběhu mojí diplomové práce, byl jsem schopen po měsíci provozu zaznamenat změny, které byly nezbytné k vyladění chodu frézky. Změny se týkaly frézovací hlavy, ložisek, řemenového převodu.

Po provedení změn a vyladění chodu frézka pracuje téměř bez údržby a poruch.



Obr. č. 34 - Reálná instalace kopírky hokejových čepelí pro firmu Willer

4.1 Provedené změny

Testovací provoz stroje ukázal na některé nedostatky. Bylo potřeba některé části upravit nebo vyměnit.

Změny, které proběhly, bylo zapotřebí řešit co nejrychleji, jelikož přímo omezovaly plynulý chod stroje.

Frézovací hlava a řemenice byly vyměněny. Ložiska a gufera byla upravena.

Provedením změn byl chod stroje optimalizován a stal se takřka bezúdržbovým zařízením. Při současném stavu je stroj spolehlivě schopen vyrobit 120 ks čepelí za hodinu.

4.1.1 Změny na frézovací hlavě

Původní frézovací hlava připevněná na stroj byla sériové výroby od tuzemské firmy Karned. Tato frézovací hlava však nevyhovovala z několika důvodů.

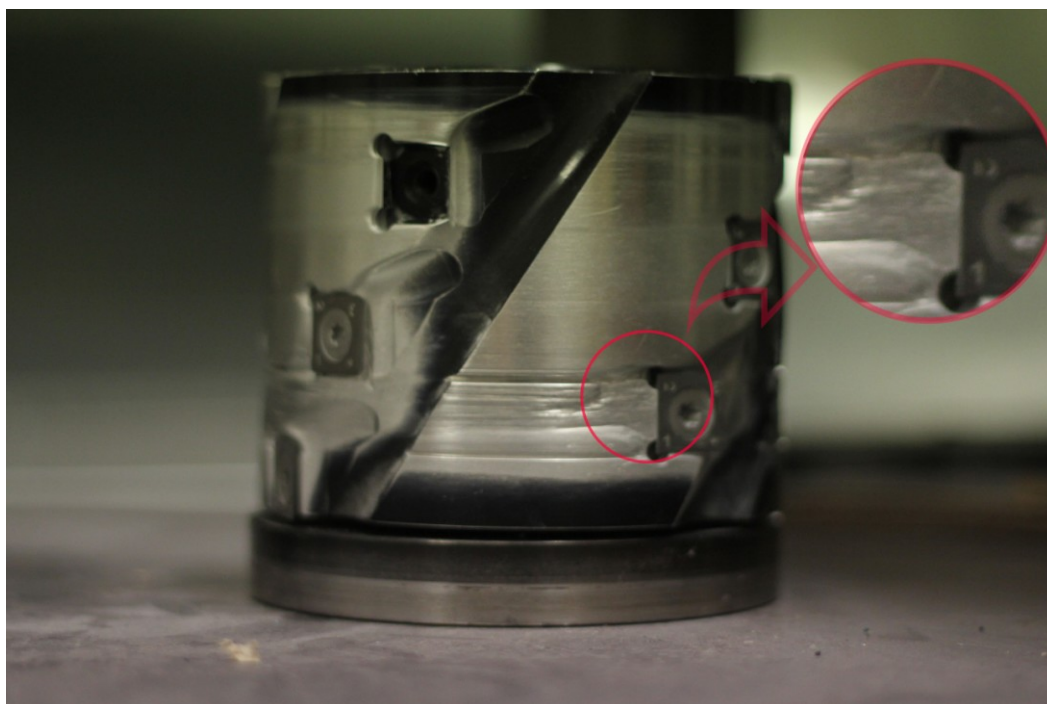
Prvním problémem bylo nevyhovující rozmístění břitových destiček na válci frézy. Obráběná čepel má specifický průhyb (shape) a vzhledem k tomuto průhybu je fréza zatěžována nerovnoměrně, spíše ve spodní části. Na nejvíce namáhanou část frézy tak vychází 3 břitové plátky. Malý počet břitových plátků je další důvod proč byla fréza Karned nedostatečná pro náš účel.

Oba tyto faktory vedly k přílišnému kontaktu obráběné čepele s povrchem frézy a vzniku nadměrného tření, což se podepsalo na fréze tak, že po 600 kusech obrobených čepelí byla ve fréze vybroušená nepravidelná drážka. Po zmíněných 600 kusech tak byla jakost obrobeného povrchu čepele zcela nevyhovující. Řešením byl návrh nové frézovací hlavy.

Nová frézovací hlava skýtá 28 břitových plátků uložených ve sloupcích střídavě po 3 a po 4 vždy po 45°. Materiál použitý na těle nové frézovací hlavy je superdural. Velkou změnou je zvětšení průměru hlavy oproti původním 100 mm na stávajících 120 mm. Nová frézovací hlava tak vydrží 1000 kusů čepelí do výměny plátků, po výměně plátků je schopna dále zodpovědně a spolehlivě pracovat.

Tab. č. 4 – Tabulka Feropol – specifikace superduralu [19]

EN	ČSN	Chemické složení
2024	424203	AlCu4Mg1
<ul style="list-style-type: none">• jedná se o tzv. superdural, používá se jen ve vytvrzeném stavu• materiál je nevhodný ke svařování• dá se eloxovat, obrábět, leštit• má vysokou pevnost - ve vytvrzeném stavu je pevnost v tahu 420MPa a tvrdost 110 HB		



Obr. č. 35 – Viditelné poškození na hlavě Karned, stav po 600 kusech čepelí



Obr. č. 36 - Nová frézovací hlava vlastního návrhu, detail opotřebení po 1000 obrobených čepelí

Návrh frézovací hlavy vycházel ze skutečnosti, že má obrábět kompozitní materiál za poměrně malého úběru třísky, přičemž chceme dosáhnout co nejkratšího výrobního času při nejvyšší možné jakosti povrchu.

To se úzce týká obvodové rychlosti. U staré hlavy Karned byla $v_{c1} = 2980 \text{ m/min}$.

Nová frézovací hlava podle vlastního návrhu má zvětšený průměr, jelikož řezná rychlost kolem 3000 ot/min je už sama o sobě poměrně vysoká, bylo potřeba snížit otáčky na hnaném hřídeli změnou řemenic. Nová frézovací hlava pak disponuje řeznou rychlostí $v_{c2} = 2450 \text{ m/min}$.

Obě řezné rychlosti spadají svou charakteristikou do kategorie HSC (high speed cutting) obrábění, což je obrábění za vysokých řezných rychlostí.

Vysoká řezná rychlost je k obrábění kompozitů šetrnější, než pomalá, u které by mohlo dojít k delaminaci obrobku.

Delaminace znamená oddělení jednotlivých vrstev kompozitu od sebe, vzniká jako negativní faktor při obrábění kompozitů, zejména pak u vrtání. Příčinou delaminace bývá špatná volba nástroje, špatně zvolená řezná rychlost atd.

Charakteristika HSC obrábění:

- Při tomto obrábění se mění podmínky vzniku třísky v místě řezu
- Zavádíme s cílem zkrácení strojních časů na obrábění součásti
- Dochází k odlišným pochodům než při obrábění za nižších rychlostí
- Teplota třísky se blíží teplotě tavení obráběného materiálu
- Při určité rychlosti dojde k náhlé změně řady metalurgických a mechanických vlastností třísky
- Velké nároky kladené na stroje a nástroje
- Použití – automobilový průmysl, letectví, výroba forem a nástrojů, obrábění kompozitních materiálů

Tab. č. 5 – Doporučené řezné rychlosti pro vybrané materiály [20]

Materiál	Řezná rychlost [m.min⁻¹]
Ocel	800 – 1100
Slitiny Ti	150 – 100
Slitiny Ni	160 – 280
Litina	900 – 1600
Slitina Al	3000 – 6000
Plasty zpevněné vlákny	2200 – 8000
Bronz, mosaz	1100 – 3000

4.1.2 Změna převodového poměru

Zvětšení průměru nové frézovací hlavy vedlo k růstu obvodové rychlosti.

Vysoká obvodová rychlost způsobila hlučné vibrace. Bylo zapotřebí provést další úpravu v podobě změny převodového poměru, ten byl upraven z původního $i=3,33$ na aktuální převodový poměr $i=2,28$.

Změna převodového poměru byla provedena návrhem a výrobou nových řemenic. Změnou řemenic a převodového poměru se snížily otáčky na hnaném hřídeli z 9500 ot/min na 6500 ot/min.



Obr. č. 37 - Vyměněna řemenic na kopírovací frézce

4.1.3 Změny v ložiscích

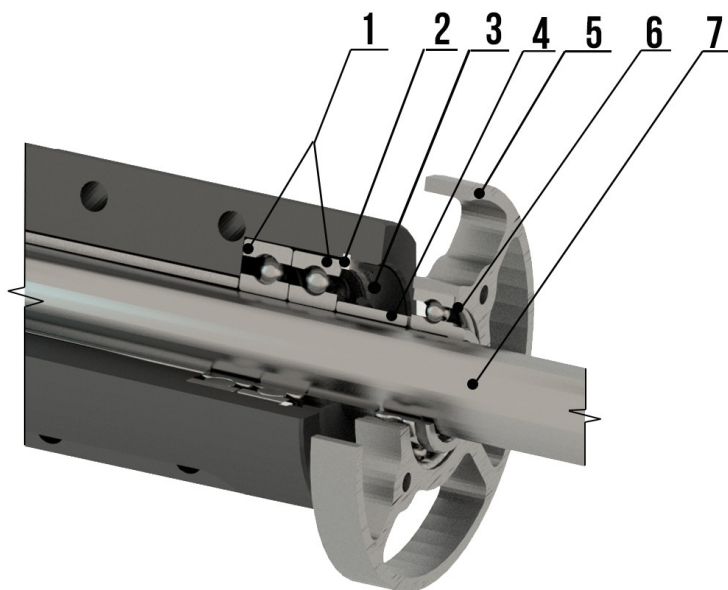
Ložiska byla od výroby ošetřena mazivem. Toto mazivo při vysokých otáčkách způsobovalo přehřívání ložisek a později i vibrace hřídele. Bylo potřeba ložiska upravit. Úprava ložisek proběhla jednoduše - vaselinové mazivo použité z výroby bylo vymyto a nahrazeno novým silikonovým mazivem. Touto snadnou úpravou došlo k úplné eliminaci přehřívání ložisek.

4.1.4 Změny na guferech

Hřídel je ve svém pouzdře z horní i spodní strany zatěsněn dvoubřítými guferami. Ve zkušebním provozu se ukázalo, že se v důsledku vysokých otáček gufera připékají k vložce. Vysoké tření způsobilo zahřívání hřídele.

Řešením bylo odstranění pružinek sepínajících břity gufera. Tyto pružiny způsobovaly až moc velký přítlak, který nebyl pro naše řešení vhodný.

Odstranění pružin problém vyřešilo. Gufera jsou dostačujícím těsněním i po odstranění zmíněné pružinky.



Obr. č. 38 - Detail řešení utěsnění pouzdra pro uložení hřídele

Legenda:

1. Ložisko SKF 6206 C3 2 ks
2. Dvoubřité gufero
3. Distanční kroužek 22 mm
4. Kopírovací kroužek
5. Ložisko SKF 6006 2RZ2
6. Distanční kroužek 5 mm

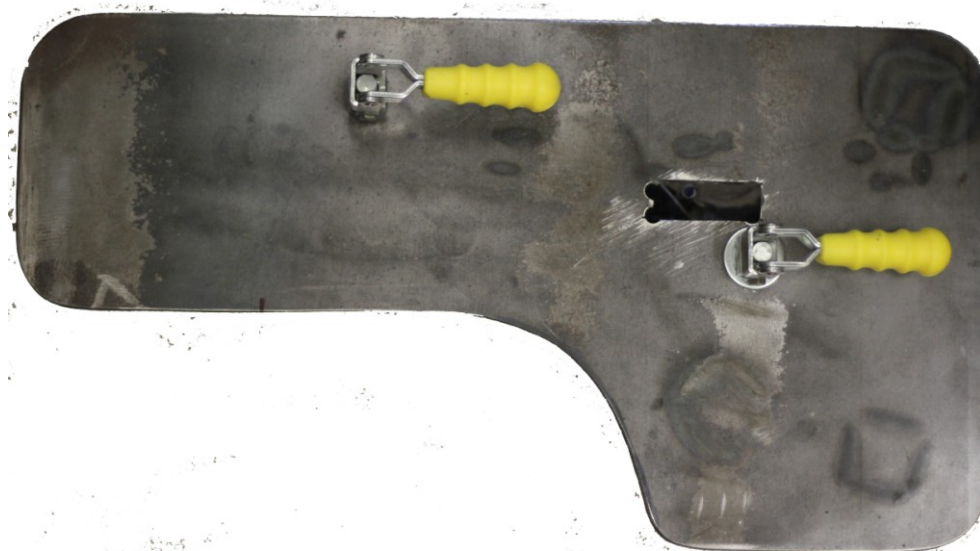
4.1.5 Změna na upínce

Reálný provoz ukázal na nedostatek při upínání. To fungovalo dobře až na to, že při ustavování čepele bylo složité čepel přesně ustavit podle stavěcích kolíků.

Vše bylo zapříčiněno neprůhlednou ocelovou vrchní deskou upínky. Obsluha se pak vždy musela zohnout a nahlédnout do upínky, zda je čepel ustavena přesně podle kolíků a stavěcího šroubu.

Řešením bylo udělat do horní desky upínky otvor „okýnko“ přes který lze vidět pohodlně z vrchu přímo na stavěcí kolíky.

Touto jednoduchou avšak důležitou úpravou se zkrátil čas potřebný k upnutí čepele, a také se téměř zcela podařilo eliminovat vznikající zmetky.



Obr. č. 39 – úprava - otvor na upínce

4.2 Fotografie a postřehy z reálného provozu

V reálném provozu se stroj osvědčil. Urychlil výrobu a tím pomohl splnit zahraniční zakázky ze Švýcarska a Francie, které v současné době neustále přibývají.

Původní metoda obrábění této operace na čepeli byla prováděna na pásových bruskách. Broušení čepelí bylo pomalé, náročné na zručnost a fyzickou zdatnost pracovníka.

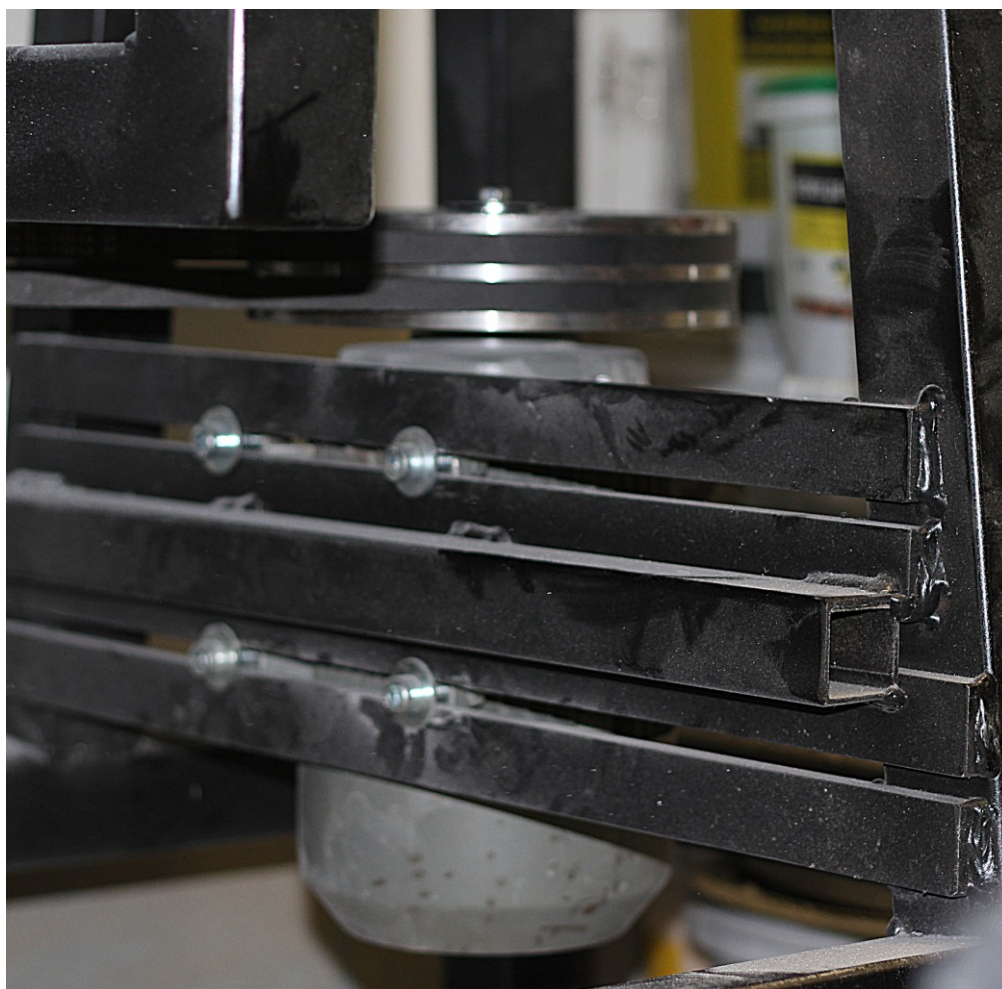
Při broušení nebyla možnost dobrého odsávání, jelikož na rozdíl od frézování vzniká při broušení jemný prach, bylo zapotřebí při broušení nosit respirátory a celkově byla operace broušením neefektivní a nešetrná vzhledem ke zdraví pracovníka.

Čas při broušení tvaru na hrubo byl $t_b = 90$ s na jednu čepel.

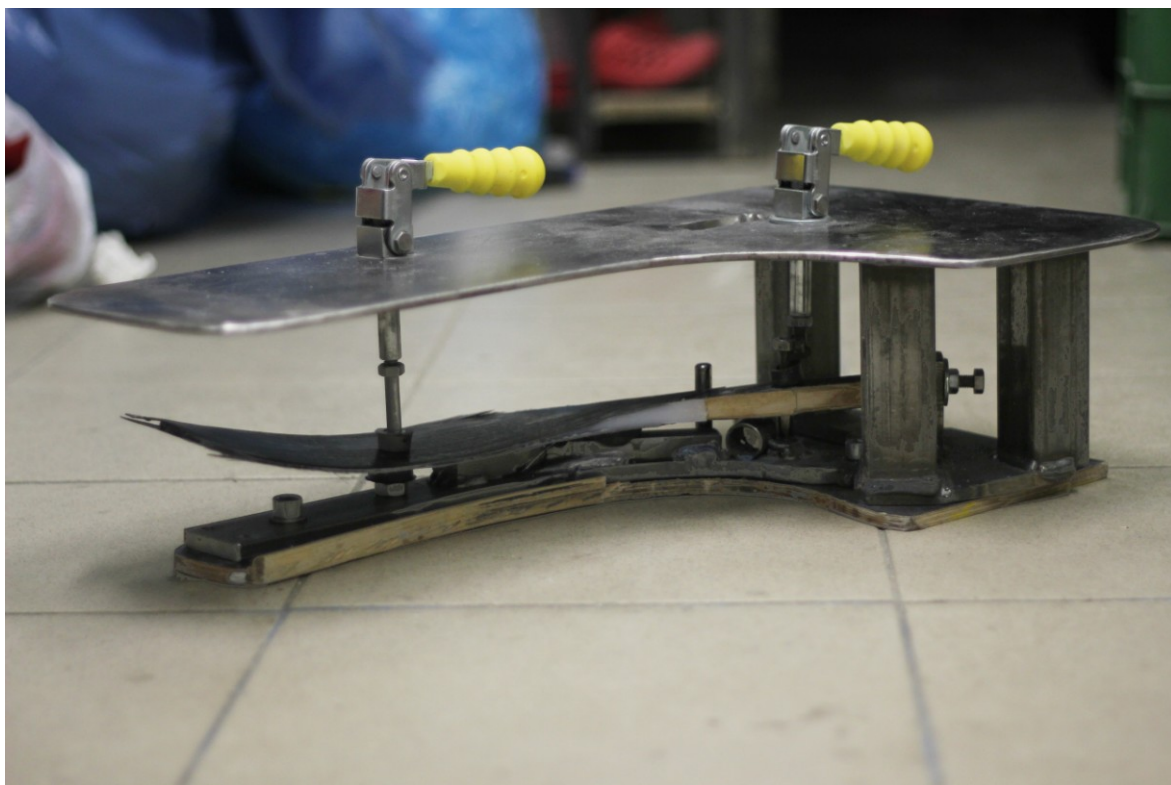
Čas potřebný pro hrubé obrobení čepele při frézování je $t_f = 30$ s.

Aplikace frézky zkrátila čas obrábění čepele o 60 s na kus čepele.

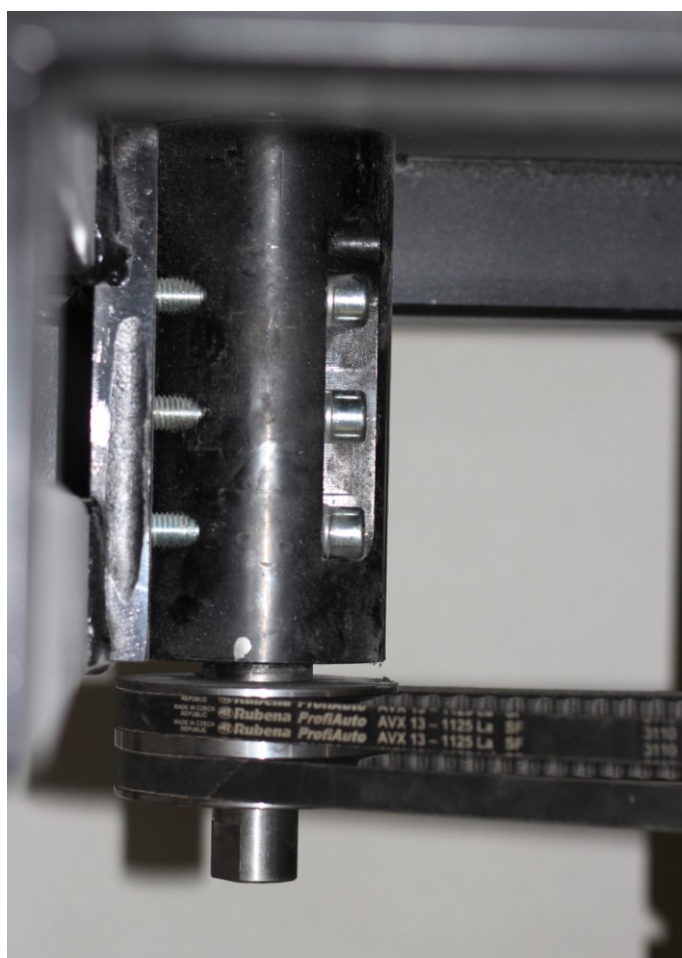
Nemluvě pak o tom, jak pohodlné frézování ve srovnání s broušením bezpochyby je.



Obr. č. 40 - závěs motoru



Obr. č. 41 - Upínka



Obr. č. 42 – uchycení pouzdra pro hřídel k rámu stroje



Obr. č. 43 – hrubě obrobený polotovár hokejové čepele kopírovací frézou



Obr. č. 44 – nejčastěji vyráběné čepele firmy Willer Hockey Equipment

5. Výpočty

V této kapitole jsem provedl výpočty životnosti ložisek, návrh a výpočet řemenového převodu a pevnostní kontrolu per. V programu Autodesk Inventor 2013 jsem provedl analýzu hřídele.

5.1 Návrh řemenového převodu

Podle známých otáček motoru a požadovaných otáček na hnané hřídeli jsem spočetl převodový poměr, podle něj posléze průměry řemenic. Dále jsem postupoval podle klasického postupu návrhu řemenic.

Zadání

Navrhněte převod klínovými řemeny z elektromotoru $P = 2,2 \text{ kW}$, $n_1 = 2850 \text{ ot/min}$ na hřídel frézovacího stroje s požadovanými otáčkami $n_2 = 6500 \text{ ot/min}$. Fréza bude provozována v jednosměnném provozu. Vzdálenost os řemenic volte asi 300 mm .

Předběžný návrh

Součinitel dynamičnosti:

Podle tabulky určím součinitel c_p . Je zadán střídavý asynchronní elektromotor, který pohání frézku (tedy střední provoz) v 1 pracovní směně, $c_p = 1,1$.

Tab. č. 6 - Součinitele dynamičnosti a pracovního režimu [4]

Součinitele dynamičnosti zatížení a pracovního režimu											
Pracovní režim	Typy strojů	Charakter zatížení	Střídavý el. motor pro průmyslové použití; stejnosměrný el. motor derivací; turbíny	Stejnoseměrný el. motor kompaundní; spalovací motor s otáčkami přes 600 min ⁻¹	Střídavý el. motor se zvýšeným záložním momentem; stěrno; smíšený el. motor se sériovým buzením; spalovací motor s pláčkami do 600 min ⁻¹	Počet pracovních směn řemenů					
						1	2	3	1	2	3
POZNÁMKA - Při reverzací nebo častém spouštění se C_p zvyšuje o 10%.											
Lehký	Soustruhy, vrtáky, brusky, lehké ventilátory; čerpadla a kompresory odstředivé a rotační, pásové dopravníky, váky, separátory, lehké prohezozačky, stroje na čbření a nakládání obilí aj.	Lehký; Maximální krátkodobé zatížení do 120% jmenovitého	1,0	1,1	1,4	1,1	1,2	1,5	1,2	1,4	1,6
Střední	Frézky, frézky na ozubení, revolverové vrtáky, polygrafické stroje, el. generátory, pásové čerpadla a kompresory s více vřecí; ventilátory a dmychadla; řezákové dopravníky, elevátory, okružní pily na dřevotranspozé, dopravníky, papírenské, potravinářské stroje, těžké prohezozačky, otáčivé pisy; rychloběžné brusky aj.	Mírné výkyvy zatížení; Maximální krátkodobé zatížení do 150% jmenovitého	1,1	1,2	1,5	1,2	1,4	1,6	1,3	1,5	1,7
Těžký	Havláky, sušecí drátěčky a dřevozpracující stroje; čerpadla a kompresory plové s 1 nebo 2 vřecí; ventilátory a dmychadla těžkého typu; strobové a hřídelové dopravníky; drtiče, žnekové lisy excentrické s těžkým selvačnickem; kácí stroje; stroje na čbření bavlny; stroje na lisování a brketování krmiv	Značné výkyvy zatížení; Maximální krátkodobé zatížení do 200% jmenovitého	1,2	1,3	1,6	1,3	1,5	1,7	1,4	1,6	1,9
Velmi těžký	Zvedáče, exkavátory, plovači rypadla; lisy; mlýky; buchary, kolové mlýny; tržecí stroje na hlínu; kulové, kamenové a kladkové mlýny; drtiče, rámcové pily aj.	Rázové, silné nerovnoměrné zatížení; Max. krátkodobé zatížení do 300% jmenovitého	1,3	1,5	1,7	1,4	1,6	1,8	1,5	1,7	2,0

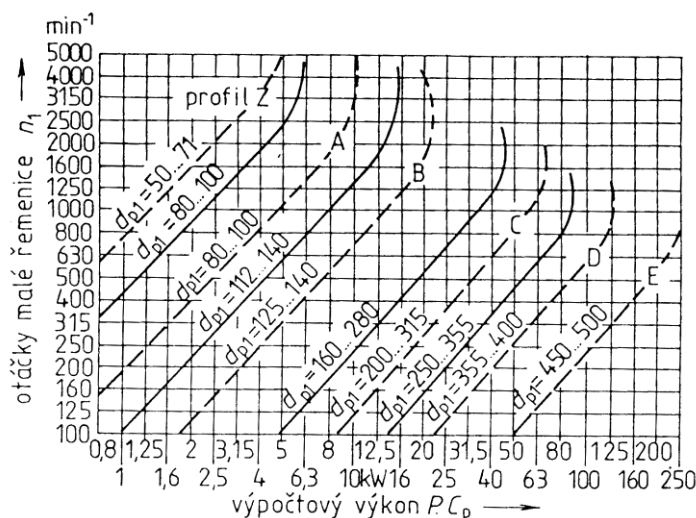
Výpočtový výkon

$$P_v = P \cdot c_p = 2200 \cdot 1,1 = 2420 \text{ W} \quad (1)$$

Typ řemene a průměr malé řemenice

Pro $P_v = 2420 \text{ W}$ a $n_1 = 2850 \text{ ot/min}$ podle diagramu na obr. 1 volím řemen typu A a zároveň výpočtový průměr malé řemenice $d_{p,1} = 90 \text{ mm}$.

Poznámka : tento průměr je nutno volit i s ohledem na průměr hřídele, na kterém bude řemenice umístěna!



Obr. č. 45 - Návrh řemene typu Z...E podle výpočtového výkonu P_v a otáček n_1 [4]

Průměr velké řemenice

Požadované otáčky velké řemenice jsou $n_2 = 6500 \text{ ot/min}$

Převodový poměr:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{6500}{2850} = 2,3 \quad (2)$$

průměr velké řemenice:

$$D_2 = D_1 \cdot i = 90 \cdot 2,3 = 207 \text{ mm} \quad (3)$$

Tab. č. 7 - Výpočtové průměry řemenic pro klínové řemeny [4]

† Výpočtové průměry řemenic pro klínové řemeny

Rozměry v milimetrech													
Řada výpočtových průměrů d_p řemenic pro klasické klínové řemeny													
(28)	(32)	(36)	(40)	(45)	50	(53)	56	(60)	63	(67)	71	(75)	80
(85)	90	(95)	100	(106)	112	(118)	125	(132)	140	(150)	160	(170)	180
(190)	200	(212)	224	(236)	250	(265)	280	(300)	315	(335)	355	(375)	400
(425)	450	(475)	500	(530)	560	(600)	630	(670)	710	(750)	800	(850)	900
(950)	1000	(1060)	1120	(1180)	1250	(1320)	1400	(1500)	1600	(1700)	1800	(1900)	2000
(2120)	2240	(2360)	2500	(2650)	(2800)	(3000)	(3150)	(3350)	(3750)	(4000)			
POZNÁMKY : 1. Rozměry do 50 mm nejsou v ČSN uvedeny; 2. Rozměry v závorkách lze použít pouze v odůvodněných případech.													
Mezní úchytky výpočtových průměrů													
Výpočtový průměr d_p		Mezní úchytky		Výpočtový průměr d_p		Mezní úchytky		Výpočtový průměr d_p		Mezní úchytky		Výpočtový průměr d_p	
od	do	es	ei	od	do	es	ei	od	do	es	ei	od	do
28	36	+0,4	0	90	118	+1	0	400	530	+4	0	1120	1600
40	45	+0,5	0	125	190	+1,5	0	560	750	+5	0	1800	2500
50	56	+0,6	0	200	265	+2	0	800	1060	+6	0		
60	85	+0,8	0	280	375	+3	0						

podle tabulky 2 volím průměr velké řemenice $d_2 = 224 \text{ mm}$,
výsledný převodový poměr

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{224}{90} = 2,488$$

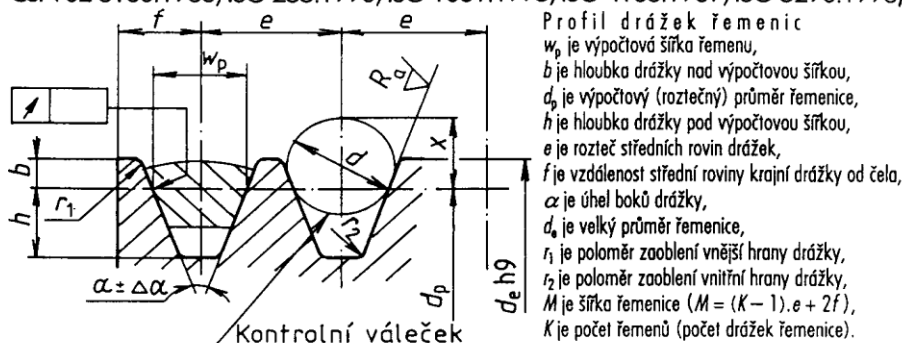
(4)

Vzdálenost řemenic

Nejmenší vzdálenost řemenic:

Tab. č. 8 - Řemenice pro klínové řemeny [4]

ŘEMENICE PRO KLÍNOVÉ ŘEMENY (podle ČSN 02 3179:1985,
ČSN 02 3180:1968, ISO 255:1990, ISO 1081:1995, ISO 4183:1989, ISO 5290:1993)



Řemenice pro klínové řemeny

Rozměry v milimetrech

Průřez	w_p	b_{min}	h_{min}	θ	f	r_1	r_2	d	x	$d_{p \min}$
Y ^{*)}	5,3	1,6	4,5	$8 \pm 0,3$	7 ± 1	0,5	0,5	$5,5 - 0,03$	3,5	$\frac{32}{(28)}$
Z	8,5	2,5	7,0	$12 \pm 0,3$	8 ± 1	0,5	1	$9 - 0,036$	6,0	$\frac{63}{(50)}$
A	11	3,3	8,7	$15 \pm 0,3$	$10 - 1$	1	1	$11,6 - 0,043$	7,6	$\frac{90}{(75)}$
B	14	4,2	10,8	$19 \pm 0,4$	$12,5 - 1$	1	1,6	$14,7 - 0,11$	9,6	125
C	19	5,7	14,3	$25,5 \pm 0,5$	$17 - 1$	1,6	2	$20 - 0,13$	13,1	200
D	27	8,1	19,9	$37 \pm 0,6$	$24 - 1$	2	3	$28,5 - 0,13$	18,8	355
E	32	9,6	23,4	$44,5 \pm 0,7$	$29 - 1$	2	4	$33,8 - 0,16$	22,3	500
SPZ	8,5	2,0	9,0	$12 \pm 0,3$	8 ± 1	0,5	1	$9 h9$	6,0	63
SPA	11	2,75	11,0	$15 \pm 0,3$	$10 - 1$	1	1	$11,6 h9$	7,5	90
SPB	14	3,5	14,0	$19 \pm 0,4$	$12,5 - 1$	1	1,6	$14,7 h11$	9,5	140
SPC	19	4,8	19,0	$25,5 \pm 0,5$	$17 - 1$	1,6	2	$20 h11$	13,0	224

^{*)} Pouze v normách ISO a DIN.

Pro řemen typu A je $b_{min} = 3,3 \text{ mm}$, tedy

$$D_{a,1} = D_1 + 2 \cdot b_{min} = 90 + 6,6 = 96,6 \text{ mm} \quad (5)$$

$$D_{a,2} = D_2 + 2 \cdot b_{min} = 224 + 6,6 = 230,6 \text{ mm} \quad (6)$$

a minimální vzdálenost řemenic

$$a_{min} = \frac{96,6 + 230,6}{2} + 20 = 183,6 \text{ mm} \quad (7)$$

Doporučená vzdálenost řemenic

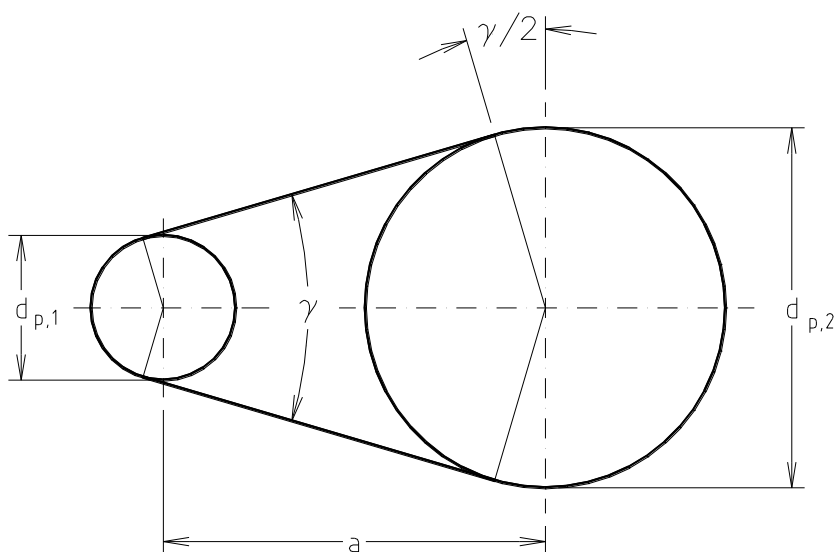
Doporučená vzdálenost je dána doporučením výrobce a pohybuje se

$$a_{dop} = (0,7 \dots 2) \cdot (D_1 + D_2) = (0,7/2) \cdot (90 + 224) = 219,8 \text{ mm až } 628 \text{ mm}. \quad (8)$$

Požadovaná osová vzdálenost $a = 300 \text{ mm}$ je v tomto rozsahu.

Výpočtová délka řemene

Předběžná výpočtová délka řemene $L_{p,p}$ se stanoví z geometrických poměrů na obr. č. 46:



Obr. č. 46 - Schéma řemenového převodu pro výpočet délky řemene

$$L_{p,p} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot (180^\circ - \gamma^\circ)}{360^\circ} + \frac{\pi \cdot D_2 \cdot (180^\circ + \gamma^\circ)}{360^\circ} + 2 \cdot a \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \quad (9)$$

kde

$$\frac{\gamma}{2} = \arcsin \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot a} \quad (10)$$

pro tento případ:

$$\frac{\gamma}{2} = \arcsin \frac{224 - 90}{2 \cdot 300} = \arcsin 0,223 = 12,9^\circ$$

$$\gamma = 25,8^\circ$$

$$\begin{aligned} L_{p,p} &= \frac{\pi \cdot D_1 \cdot (180^\circ - 25,8^\circ)}{360^\circ} + \frac{\pi \cdot D_2 \cdot (180^\circ + 25,8^\circ)}{360^\circ} + 2 \cdot 300 \cdot \cos \frac{25,8}{2} = \\ &= \frac{\pi \cdot 90 \cdot (180^\circ - 25,8^\circ)}{360^\circ} + \frac{\pi \cdot 224 \cdot (180^\circ + 25,8^\circ)}{360^\circ} + 2 \cdot 300 \cdot \cos \frac{25,8}{2} = \\ &= 121,1 + 402,3 + 584,85 = 1108,25 \text{ mm} \end{aligned} \quad (11)$$

Objednací délka řemene

podle typu řemene označují výrobce délku řemene buďto:

- výpočtovou délkou L_p (řemeny XPZ, XPA...XPC);
- vnitřní délkou L_h (řemeny typu Z, A ...E);
- vnější délkou L_a . (např. řemeny typu AVX).

Pro přepočet výpočtové délky L_p na objednáci a zpět je možno použít tab. č. 9

Tab. č. 9 - Klínové řemeny obalované, klasický průřez [4]

Typ řemene	Z	A	B	C	D	E
Délka od...do	400...4000	475...10000	525...15000	1180...15000	2240...15000	2240...15000
$L_h = L_p -$	22	30	43	52	75	82

V tomto případě hledám vhodnou výrobní délku pro řemen typu A pro vnitřní délku

$$L_h = L_{p,p} - 30 = 1108,25 - 30 = 1078,25 \text{ mm.} \quad (12)$$

Nejbližší katalogová délka je $L_{h,k} = 1125 \text{ mm}$, což zpětně znamená skutečnou výpočtovou délku:

$$L_p = L_{h,k} + 30 = 1125 + 30 = 1155 \text{ mm} \quad (13)$$

Skutečné rozměry převodu

Skutečná osová vzdálenost

$$a_{skut} = 0,25 \cdot \left[(L_p - W) + \sqrt{(L_p - W)^2 - 8 \cdot y} \right] \quad (14)$$

$$\text{kde} \quad w = \pi \cdot \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (15)$$

$$y = \frac{D_2^2 - D_1^2}{8} \quad (16)$$

Dosazení:

$$w = \pi \cdot \frac{224 + 90}{2} = 493,23 \text{ mm}$$

$$y = \left(\frac{224 - 90}{2} \right)^2 = 4489 \text{ mm}^2$$

$$a_{skut} = 0,25 \cdot \left[(1155 - 493,23) + \sqrt{(1155 - 493,23)^2 - 8 \cdot 4489} \right] = 323,94 \text{ mm}$$

Při napnutí řemene při montáži se ve skutečnosti osová vzdálenost zvýší asi o další 0,4 %.

$$a_n = a_{skut} \cdot 1,004 = 323,94 \cdot 1,004 = 325,24 \text{ mm} \quad (17)$$

Osová vzdálenost při napnutí se od skutečné liší téměř o dva milimetry, tento fakt nemá žádný negativní vliv, jelikož se s napínáním počítá.

Počet řemenů

Jmenovitý ideální výkon, přenositelný jedním řemenem je uveden v následující tabulce

č. 10

Pro řemen typu SPA, při výpočtovém průměru $D_1 = 90 \text{ mm}$, otáčkách $n_1 = 6500 \text{ ot/min}$ a převodu $i = 2,3$ je $P_{id,1} = 5,1 \text{ kW}$ (neodpovídá-li některý parametr tabulkovým hodnotám, provede se lineární interpolace).

Tab. č. 10 – Jmenovitý ideální výkon převodu s jedním klínovým řemenem [4]

Jmenovitý ideální výkon převodu s jedním klínovým řemenem

Profil řemenů	Výpočtový průměr d_f [mm]	Otáčky malé řemenice n_1 [min ⁻¹]																					
		200		400		700		950		1200		1450		2000		2800		3600		5000		6000	
		$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$	$i=1$	$i \geq 3$		
Jmenovitý ideální výkon převodu s jedním řemenem P_n^* [kW]																							
Y	28	0,015	0,017	0,027	0,030	0,042	0,048	0,054	0,062	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,23	0,23	0,26
	40	0,025	0,029	0,046	0,052	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14	0,14	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,29	0,33	0,38	0,43	0,43	0,49
	≥ 63	0,044	0,049	0,08	0,09	0,13	0,15	0,17	0,20	0,21	0,24	0,25	0,28	0,33	0,38	0,44	0,50	0,53	0,61	0,67	0,77	0,75	0,86
	50	0,062	0,070	0,11	0,12	0,16	0,19	0,21	0,24	0,25	0,28	0,28	0,32	0,35	0,40	0,44	0,50	0,50	0,57	0,57	0,65	0,57	0,65
Z	71	0,11	0,13	0,20	0,23	0,33	0,37	0,42	0,48	0,51	0,59	0,59	0,68	0,76	0,87	0,98	1,11	1,15	1,31	1,35	1,54	1,39	1,58
	90	0,16	0,18	0,29	0,33	0,47	0,54	0,61	0,69	0,74	0,84	0,86	0,99	1,12	1,27	1,43	1,63	1,67	1,91	1,90	2,16	1,86	2,12
	≥ 112	0,21	0,24	0,39	0,44	0,63	0,72	0,82	0,94	1,00	1,14	1,17	1,33	1,51	1,72	1,91	2,17	2,19	2,49	2,30	2,63		
	125	0,22	0,25	0,39	0,44	0,61	0,69	0,77	0,88	0,93	1,05	1,07	1,21	1,34	1,53	1,64	1,87	1,83	2,09				
A	112	0,31	0,36	0,56	0,64	0,90	1,02	1,15	1,31	1,39	1,59	1,61	1,84	1,89	2,16	2,51	2,87	2,78	3,17				
	140	0,43	0,49	0,78	0,89	1,26	1,43	1,62	1,85	1,96	2,24	2,28	2,59	2,87	3,27	3,48	3,97	3,72	4,24				
	180	0,59	0,68	1,09	1,24	1,76	2,00	2,27	2,59	2,74	3,12	3,16	3,61	3,93	4,48	4,54	5,18						
	≥ 200	0,88	1,01	1,59	1,81	2,53	2,88	3,22	3,67	3,85	4,38	4,39	5,01	5,30	6,05	5,76	6,56	Interpolace P_n^* : pro $1 < i < 3$ je $P_n^* = P_n^*(i-1) + K(P_n^*(i-2) - P_n^*(i-1))$ pro d_f a n_1 je interpolace lineární.					
B	175	0,48	0,55	0,84	0,96	1,30	1,48	1,64	1,86	1,93	2,20	2,19	2,50	2,64	3,01	2,96	3,37	K					
	180	0,88	1,01	1,59	1,81	2,53	2,88	3,22	3,67	3,85	4,38	4,39	5,01	5,30	6,05	5,76	6,56						
	224	1,09	1,36	2,17	2,47	3,47	3,96	4,42	5,04	5,26	6,80	5,97	6,81	7,02	8,05								
	≥ 280	1,58	1,80	2,89	3,29	4,61	5,26	5,58	6,67	6,90	7,91	7,76	8,84	8,60	9,80								
C	200	1,39	1,58	2,41	2,75	3,69	4,21	4,58	5,22	5,29	6,03	5,84	6,66	6,34	7,23			1,05					
	280	2,42	2,76	4,32	4,93	6,76	7,76	8,49	9,67	9,81	11,17	10,72	12,22	11,04	12,58								
	355	3,36	3,82	6,05	6,90	9,50	10,82	11,73	13,36	13,31	15,16	14,12	16,09										
	≥ 450	4,51	5,15	8,20	9,34	12,63	14,39	15,23	17,35	16,59	18,91												
D	355	5,31	6,06	9,24	10,52	13,70	15,61	16,15	18,40									1,2					
	560	10,76	12,26	18,95	21,59	27,73	31,61	31,04	35,38														
	630	12,54	14,29	22,05	25,63	31,68	36,11	34,19	38,97														
	≥ 800	16,76	19,10	29,08	33,15	39,14	44,61																
E	500	10,86	12,37	18,55	21,14	26,21	29,87	28,32	32,27									1,5					
	630	15,65	17,83	26,95	30,71	37,26	42,47	37,92	43,22														
	≥ 1000	28,50	32,51	47,52	54,17																		
SPZ	63	0,20	0,24	0,35	0,43	0,54	0,68	0,68	0,88	0,81	1,06	0,93	1,23	1,17	1,58	1,45	2,03	1,66	2,40	1,85	2,88	1,85	3,08
	90	0,37	0,41	0,67	0,76	1,09	1,23	1,40	1,70	1,95	1,98	2,28	2,55	2,96	3,26	3,47	3,84	4,58	4,46	5,48	4,56	5,79	
	≥ 125	0,59	0,63	1,09	1,17	1,77	1,91	2,30	2,50	2,80	3,05	3,28	3,58	4,24	4,45	5,40	5,98	6,27	7,01	6,92	7,95	7,81	
	≥ 180	0,92	0,96	1,71	1,80	2,81	2,95	3,65	3,85	4,45	4,69	5,19	5,49	6,63	7,04	8,20	8,78	9,01	9,76				
SPA	90	0,43	0,52	0,75	0,94	1,17	1,50	1,48	1,92	1,76	2,32	2,02	2,69	2,49	3,42	3,00	4,29	3,26	4,92	3,07	5,37	2,34	5,10
	125	0,77	0,86	1,40	1,59	2,25	2,58	2,90	3,34	3,50	4,06	4,06	4,73	5,15	6,07	6,34	7,63	7,03	8,69	6,75	9,06	5,14	7,91
	180	1,30	1,39	2,39	2,58	3,89	4,21	5,04	5,47	6,10	6,65	7,07	7,74	8,90	9,83	10,67	11,96	11,15	12,81				
	≥ 250	1,95	2,04	3,62	3,80	5,88	6,21	7,60	9,04	9,15	9,70	10,53	11,19	12,85	13,77	14,13	15,42						
SPB	140	1,08	1,27	1,92	2,31	3,02	3,70	3,83	4,76	4,55	5,72	5,09	6,61	6,31	8,26	7,15	9,89	6,89	10,40				
	200	1,94	2,13	3,54	3,93	5,69	6,38	7,30	8,23	8,74	9,91	10,02	11,43	12,08	14,13	13,41	16,14	11,83	15,34				
	≥ 280	3,05	3,25	5,63	6,02	9,09	9,77	11,62	12,55	13,82	14,99	15,65	17,07	18,17	20,12								
	400	4,68	4,87	8,64	9,03	13,82	14,50	17,39	18,32	20,17	21,34	22,02	23,43										
SPC	224	2,90	3,38	5,19	6,15	8,13	9,81	10,19	12,47	11,89	14,77	13,22	16,69	14,58	19,37	11,89	18,60						
	315	4,97	5,45	9,07	10,03	14,36	16,04	18,01	20,29	20,88	23,76	22,87	26,34	23,47	28,26								
	450	7,96	8,44	14,56	15,52	22,81	24,48	27,94	30,22	31,15	34,03	32,06	35,54										
	≥ 630	11,80	12,28	21,42	22,38	32,37	34,04	37,37	39,64	37,52	40,40												

Skutečně přenositelný výkon jedním řemenem

Skutečná výkon je ovlivněn úhlem opásání malé řemenice, vlivem délky řemene a součinitelem dynamičnosti podle vztahu

$$P_1 = P_{id,1} \cdot \frac{c_\alpha \cdot c_L}{c_P} \quad (18)$$

Součinitel opásání malé řemenice

Pro úhel opásání $180^\circ - g = 180^\circ - 25,8^\circ = 154,2^\circ$ je podle následující tabulky č. 11 $c_\alpha = 0,93$

Tab. č. 11 – Součinitele úhlu opásání malé řemenice [4]

Součinitele úhlu opásání malé řemenice

$(d_{g2} - d_{g1})/a$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
Úhel opásání β°	180	177	174	171	169	166	163	160	157	154	151	148	145	142
Součinitel úhlu opásání malé řemenice C_β	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90

	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
	139	136	133	130	127	123	120	117	113	110	106	103	99	95	91	87	83
	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68	0,65

Součinitel vlivu délky řemene

Pro výpočtovou délku řemene $L_P = 1155$ je součinitel podle následující tabulky č. 12 $c_L = 0,9$.

Volím řemen nejblíže normalizované délky SPA 12.5X1150 LA-1132 LW.[24]

Tab. č. 12 – Součinitele délky klínových řemenů

Součinitele délky klínových řemenů											Výpočtové délky v milimetrech										
Výpočtová délka L_p	Y	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC	Součinitel C_L pro řemeny o průřezu									
220	0,92																				
224	0,94																				
250	0,96																				
280	0,98																				
315	1,00																				
355	1,04																				
400	1,06	0,87																			
425	0,88																				
450	0,89																				
475	0,90																				
500	1,11	0,91																			
530	0,93																				
560	0,94	0,79																			
600	0,95	0,80																			
630	0,96	0,81						0,82													
670	0,97	0,82						0,84													
710	0,99	0,83																			
750	0,99	0,83																			
800	1,00	0,85						0,86	0,81												
850	1,03	0,86																			
900	1,05	0,87	0,82					0,88	0,83												
950	1,05	0,88	0,83					0,90	0,85												
1000	1,06	0,89	0,84																		
1060	1,07	0,90	0,85																		
1120	1,08	0,91	0,86					0,93	0,87												
1180	1,10	0,92	0,87																		
1250	1,11	0,93	0,88					0,95	0,89	0,82											
1320	1,13	0,94	0,89					0,96	0,91	0,84											
1400	1,14	0,96	0,90																		
1500	1,15	0,98	0,92																		
1600	1,17	0,99	0,93					1,00	0,93	0,86											
1700	1,20	1,00	0,94																		
1800	1,24	1,01	0,95	0,86				1,01	0,95	0,88											
1900	1,24	1,02	0,97	0,87																	
2000	1,25	1,03	0,98	0,88				1,02	0,96	0,90											
2100	1,27	1,05	0,99	0,90				1,05	0,98	0,92	0,83										
2240	1,28	1,06	1,00	0,91																	
2300	1,28	1,07	1,01	0,92				1,07	1,00	0,94	0,86										
2500	1,29	1,09	1,03	0,93																	
2650		1,10	1,04	0,94																	
2800		1,11	1,05	0,95				1,09	1,02	0,96	0,88										
3000		1,12	1,06	0,96																	
3150		1,13	1,07	0,97	0,86			1,11	1,04	0,98	0,90										
3350		1,14	1,08	0,98	0,87																
3550		1,15	1,09	0,99	0,88			1,13	1,06	1,00	0,92										

(dokončení tabulky na další straně)

Součinitele délky klínových řemenů (dokončení)

Výpočtová délka L_p	Y	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC
3750		1,16	1,11	1,00	0,90						
4000		1,17	1,13	1,02	0,91				1,08	1,02	0,94
4250			1,14	1,03	0,92					1,04	0,96
4500			1,15	1,04	0,93						
4750			1,17	1,06	0,95	0,91					
5000			1,18	1,07	0,96	0,92				1,06	0,98
5300			1,19	1,08	0,97	0,94				1,08	1,00
5600			1,20	1,09	0,98	0,95					
6000			1,22	1,11	1,00	0,96					
6300			1,23	1,12	1,01	0,97				1,10	1,02
6700			1,14	1,03	0,99						
7100			1,15	1,04	1,00					1,12	1,04
7500			1,16	1,05	1,01						
8000			1,18	1,06	1,02					1,14	1,06
8500			1,20	1,07	1,03						
9000			1,21	1,09	1,05						1,08
9500			1,22	1,10	1,06						
10000			1,23	1,11	1,07						1,10
10600			1,12	1,09							
11200			1,24	1,14	1,10						1,12
11800				1,16	1,12						
12500				1,17	1,13						1,14
13200				1,18	1,14						
14000				1,19	1,15						
15000				1,20	1,17						
16000					1,18						
17000					1,19						
18000					1,20						

ISO 4184:1992 uvádí některé výpočtové délky pro klasické řemeny odlišné, rovněž rozsah délek u jednotlivých průřezů řemenů se liší:

Průřez Délky L_p [mm]

Y 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500

Z 405, 475, 530, 625, 700, 780, 920, 1080, 1330, 1420, 1540

A 630, 700, 790, 890, 1100, 1250, 1430, 1550, 1640, 1750, 1940, 2050, 2200, 2300, 2480, 2700

B 930, 1000, 1100, 1210, 1370, 1560, 1760, 1950, 2180, 2300, 2500, 2700, 2870, 3200, 3600, 4060, 4430, 4820, 5370, 6070

C 1565, 1760, 1950, 2195, 2420, 2715, 2880, 3080, 3520, 4060, 4600, 5380, 6100, 6815, 7600, 9100, 10700

D 2740, 3100, 3330, 3730, 4080, 4620, 5400, 6100, 6840, 7620, 9140, 10700, 12200, 13700, 15200

E 4460, 5040, 5420, 6100, 6850, 7650, 9150, 12230, 13750, 15280, 16800

Délky úzkých klínových řemenů podle ISO jsou shodné s ČSN

Výsledný skutečný výkon přenositelný jedním řemenem

$$P_1 = P_{id,1} \cdot \frac{C_\alpha \cdot C_L}{C_P} = 1,64 \cdot \frac{0,93 \cdot 0,9}{1,1} = 1,25 \text{ kW} \quad (19)$$

Počet řemenů

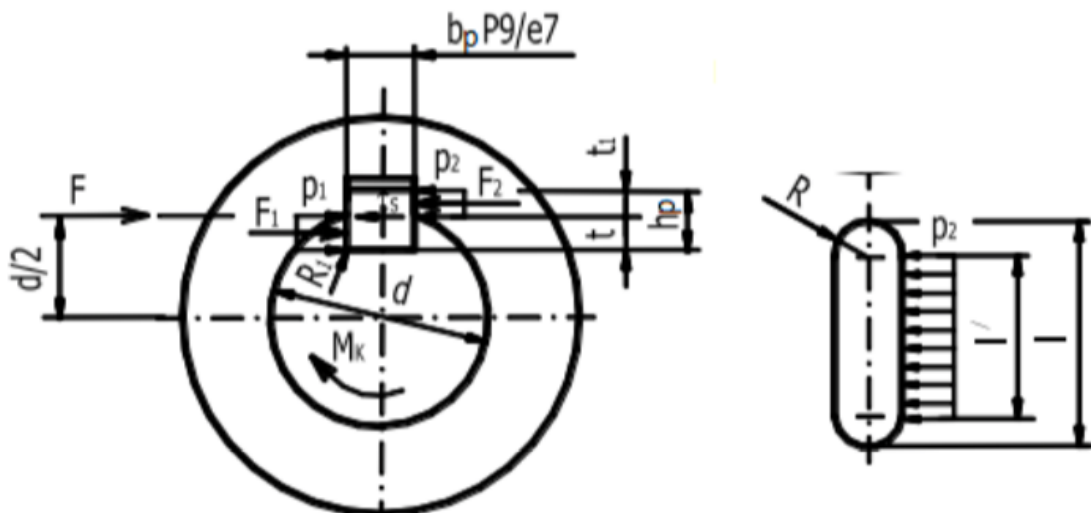
$$n_r = \frac{P}{P_1} = \frac{2,2}{1,25} = 1,76 \quad (20)$$

Vzhledem k tomu, že frézka nepojede na směny a počítá se se středním provozem do 60 hodin týdně, volím dva řemeny.

5.2 Kontrola těsných per

V návrhu stroje jsou dvě spojení pery těsnými. Konkrétně se jedná o spojení řemenic s hřídelemi. V této kapitole výpočtů provedu kontrolu na otláčení a stříh obou zmíněných per. Vzhledem k tomu, že točivý moment není nijak zvlášť vysoký, a stroj je poměrně předimenzovaný, jsou hodnoty tlaků velmi nízko pod dovolenou mezí.

Myslím si však, že předimenzování součástí je v tomto případě namístě, jelikož pracujeme se strojem, který je vysokootáčkového charakteru a jehož vřeteno není opatřeno žádným bezpečnostním krytem. Z toho vyplývá, že sebemenší porucha, nebo vada materiálu může mít pro pracovníka fatální následky. Proto je rotační ústrojí konstruováno s velkou pevnostní rezervou.



Obr. č. 47 - Schéma spojení hřídele s nábojem [3]

Výpočet kroutících momentů

Kroutící moment na hřídeli hnací:

$$M_{k1} = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n_1} = \frac{30 \cdot 2200}{\pi \cdot 2850} = 7,37 \text{ N/m} \quad (21)$$

Kroutící moment na hřídeli hnané:

$$M_{k2} = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n_1} = \frac{30 \cdot 2200}{\pi \cdot 6500} = 3,23 \text{ N/m} \quad (22)$$

5.1.1 Pero na hřídeli elektromotoru

Dáno :

roztečný průměr per ... $d_1 = 24 \text{ mm}$

šířka pera ... $b_1 = 8 \text{ mm}$

výška pera ... $h_1 = 7 \text{ mm}$

délka pera ... $l_1 = 40 \text{ mm}$

počet per ... $n_1 = 1$

krouticí moment $M_{k1} = 7371 \text{ Nmm}$

dovolený tlak ... $p_{D1} = 120 \text{ MPa}$

dovolené redukované napětí $\sigma_{D1} = 50 \text{ MPa}$

Výpočet :

styková délka pera

$$l_{st1} = l_1 - b_1 = 40 - 8 = 32 \text{ mm} \quad (23)$$

plocha pro výpočet na otláčení

$$S_{p1} = \frac{h_1 \cdot l_{st1}}{2} = \frac{7 \cdot 32}{2} = 112 \text{ mm}^2 \quad (24)$$

plocha pro výpočet namáhání na střih

$$S_{\tau1} = \frac{\pi \cdot b_1^2}{2} + b_1 \cdot l_{st1} = \frac{\pi \cdot 8^2}{2} + 8 \cdot 32 = 306,3 \text{ mm}^2 \quad (25)$$

tangenciální síla působící na jedno pero ...

$$F_{t1} = \frac{2M_{k1}}{n \cdot d_1} = \frac{2 \cdot 7371}{1 \cdot 24} = 614,2 \text{ N} \quad (26)$$

namáhání na otláčení

$$p_1 = \frac{F_{t1}}{S_{p1}} = \frac{614}{112} = 5,48 \text{ MPa} \quad (27)$$

namáhání na smyk

$$\tau_1 = \frac{F_{t1}}{S_{\tau1}} = \frac{614}{306,3} = 2 \text{ MPa} \quad (28)$$

redukované napětí

$$\sigma_{red1} = \sqrt{3} \cdot \tau_1 = \sqrt{3} \cdot 2 = 3,46 \text{ MPa} \quad (29)$$

Závěr výpočtu:

$p_1 < p_{D1}$... pero vyhovuje podmínce z hlediska namáhání na otláčení

$\sigma_{red1} < \sigma_{D1}$... pero vyhovuje podmínce z hlediska namáhání na smyk

5.1.2 Pero na hnané hřídeli

Dáno

:

roztečný průměr per ... $d_2 = 30 \text{ mm}$

kroucí moment $M_{k2} = 3232 \text{ Nmm}$

šířka pera ... $b_2 = 8 \text{ mm}$

dovolený tlak ... $p_{D2} = 120 \text{ MPa}$

výška pera ... $h_2 = 7 \text{ mm}$

dovolené redukované napětí $\sigma_{D2} = 50$

délka pera ... $l_2 = 25 \text{ mm}$

MPa

počet per ... $n_2 = 1$

Výpočet :

styková délka pera

$$l_{st2} = l_2 - b_2 = 25 - 8 = 17 \text{ mm} \quad (30)$$

plocha pro výpočet namáhání na otláčení

$$S_{p2} = \frac{h_2 \cdot l_{st2}}{2} = \frac{7 \cdot 17}{2} = 59,5 \text{ mm}^2 \quad (31)$$

plocha pro výpočet namáhání na střih

$$S_{r2} = \frac{\pi \cdot b_2^2}{2} + b_2 \cdot l_{st2} = \frac{\pi \cdot 8^2}{2} + 8 \cdot 17 = 236,5 \text{ mm}^2 \quad (32)$$

tangenciální síla působící na jedno pero

$$F_{t2} = \frac{2M_{k2}}{n \cdot d_2} = \frac{2 \cdot 3232}{1 \cdot 30} = 215,5 \text{ N} \quad (33)$$

namáhání na otláčení

$$p_2 = \frac{F_{t2}}{S_{p2}} = \frac{215,5}{59,5} = 3,62 \text{ MPa} \quad (34)$$

namáhání na smyk

$$\tau_2 = \frac{F_{t2}}{S_{r2}} = \frac{215,5}{236,5} = 0,91 \text{ MPa} \quad (35)$$

redukované napětí

$$\sigma_{red1} = \sqrt{3} \cdot \tau_2 = \sqrt{3} \cdot 0,91 = 1,57 \text{ MPa} \quad (36)$$

Závěr výpočtu :

$p < p_D$... pero vyhovuje podmínce z hlediska namáhání na otláčení

$\sigma_{red} < \sigma_D$... pero vyhovuje podmínce z hlediska namáhání na smyk

5.3 Kontrola hřídele

Hřídel je vyroben tak, aby obsahoval co nejméně prvků vrubů, které znamenají zranitelná místa.

Materiál použitý na výrobu hřídele je ocel 15230.7. Ta se vyznačuje vysokou houževnatostí a odolností proti mechanickým rázům. Ocel byla zvolena s ohledem na vysoké otáčky stroje tak, aby nedošlo k nehodě a tím porušením vřetene.

Výpočet hřídele jsem provedl pomocí programu Autodesk Inventor 2013. Vzhledem k předimenzování hřídele s ohledem na vysoké otáčky stroje jsou výsledné průhyby a deformace na hřídeli zanedbatelné. Vybraný materiál hřídele byl určen zadávající firmou Willer.

Materiál hřídele: Ocel 15230.7.

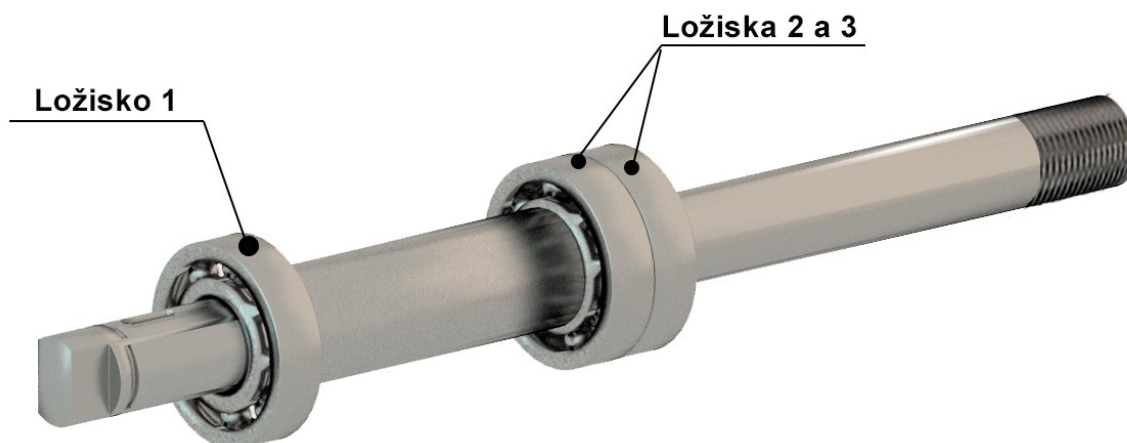
$R_e = 835 \text{ MPa}$

$R_m = 980 \text{ MPa}$

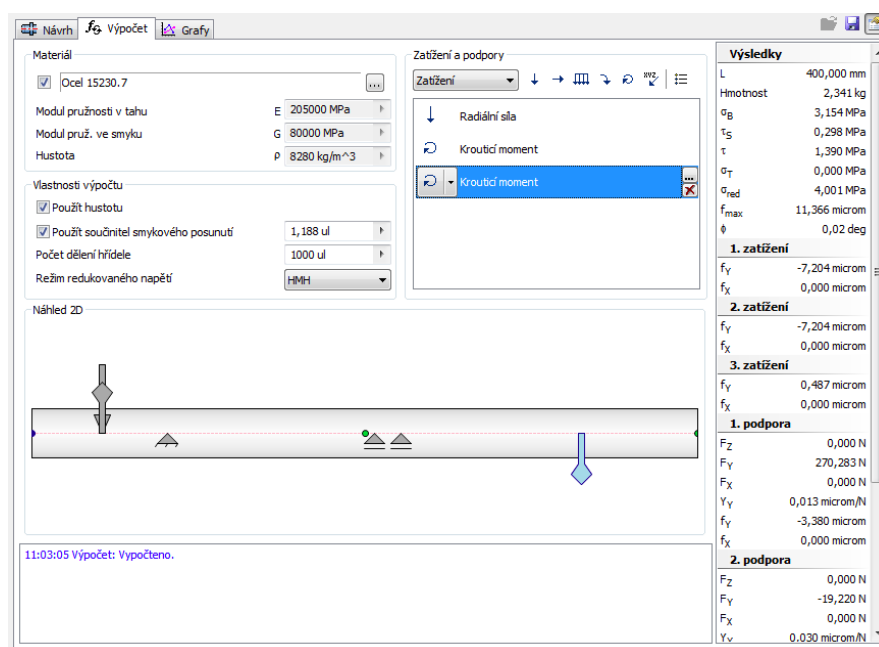
Hřídel je namáhána na ohyb a krut. Na ohyb je namáhána od reakční síly předpětí řemene a na krut od kroutícího momentu řemenice a frézovací hlavy. V program Autodesk Inventor 2013 jsem zadal všechny údaje nutné pro výpočet, tj. materiál, podpory a zatížení. Hřídel je navržena tak, že se předpokládá častý provoz u vysoko otáčkového stroje. Podle požadavků firmy byl zohledněn vybrán materiál hřídele ČSN 15230.7. Tento materiál je nízko legovaná ocel s dobrou svařitelností i obrobiteľností. Vhodná pro zušlechťování, povrchové kalení, chemicko-tepelné zpracování a pro nitridování. Využívá se na velmi namáhané zušlechtěné strojní části.

Tab. č. 13 Vlastnosti zvoleného materiálu hřídele [4]

Zvolený materiál	R_m [MPa]	R_e [MPa]	HB	Třída odpadu
ČSN 15230.7	980-1180	835	300-359	35



Obr. č. 48 - Uložení ložisek na hřídeli



Obr. č. 49 - Zadání výpočtu hřídele v programu Autodesk Inventor 2013

Provedl jsem výpočet hřídele v programu Autodesk Inventor 2013, výsledné reakční síly v podporách jsou uvedeny v tabulce

Tab. č. 14 - Reakční síly v podporách hřídele

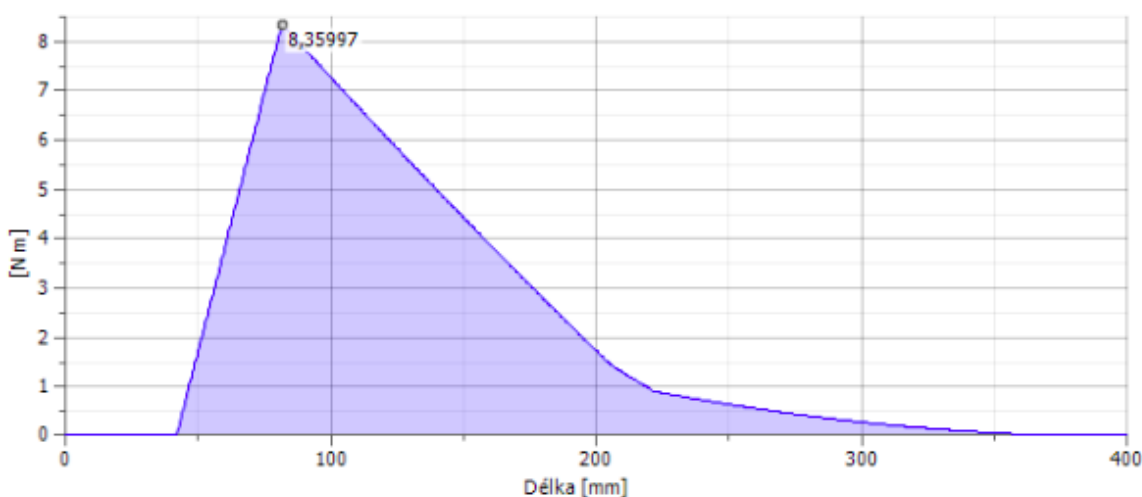
Index	Typ	Umístění	Reakční síla				Axiální zatížení
			Y	X	Velikost	Směr	
1	Pevná	81,6 mm	270,283 N	270,283 N			
2	Volný	205,8 mm	-19,220 N	19,220 N	180,00 deg		
3	Volný	222 mm	-21,820 N	21,820 N	180,00 deg		

Ostatní výsledky jsou uvedeny v tab. č. 15. Vypočtený ideální průměr hřídele je 12,892 mm. Nejmenší průměr hřídele je $d=30$ mm, který je vzhledem k výsledkům předimenzovaný. Hřídel bude sloužit jako vřeteno u stroje s 6500 až 9500 otáčkami, s nezakrytou frézovací hlavou. To bylo zohledněno jak při výběru materiálu, tak u návrhu průměru.

Tab. č. 15 - Výsledky výpočtu hřídele

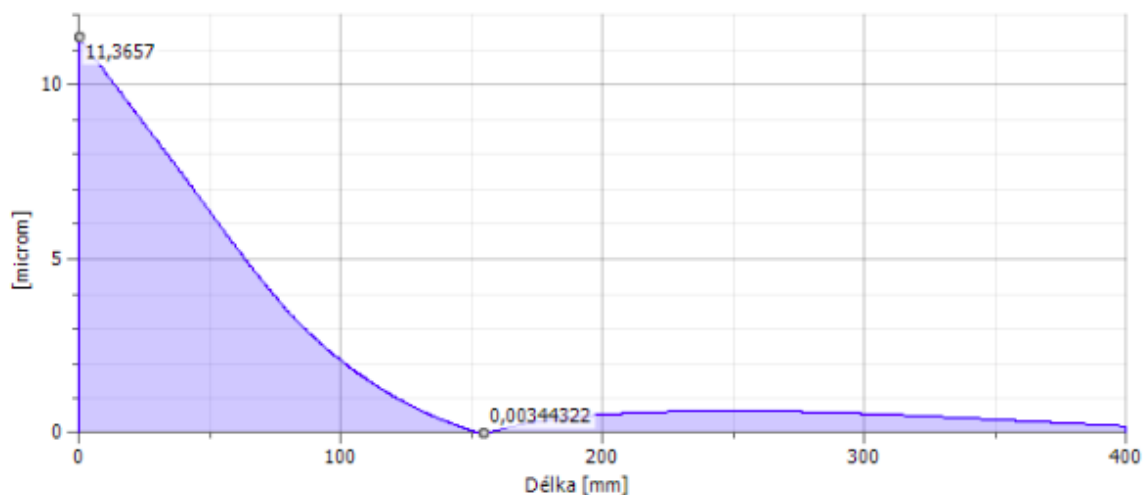
Délka	L	400,000 mm
Hmotnost	Hmotnost	2,341 kg
Maximální napětí v ohybu	σ_B	3,154 MPa
Maximální smykové napětí	τ_S	0,298 MPa
Maximální napětí v krutu	τ	1,390 MPa
Maximální napětí v tahu	σ_T	0,000 MPa
Maximální redukované napětí	σ_{red}	4,001 MPa
Maximální průhyb	f_{max}	11,366 microm
Úhel zkroucení	φ	0,02 deg

Maximální ohybový moment hřídele je 8,35 N.m jeho průběh je znázorněn na obr. č. 50



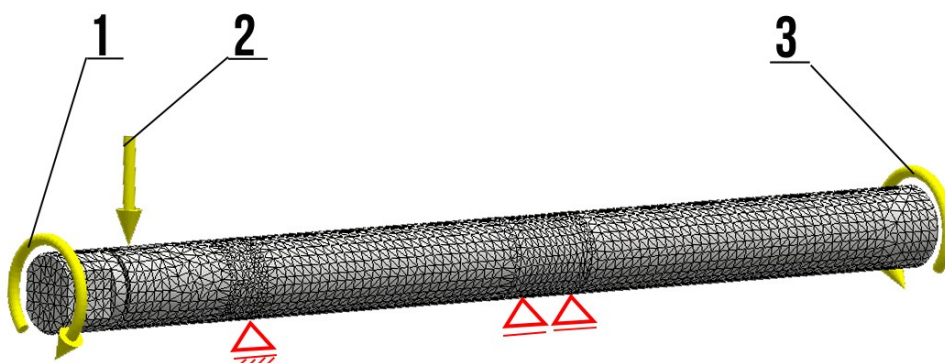
Obr. č. 50 - Průběh ohybového momentu hřídele

Maximální průhyb hřídele je 11,36 μm



Obr. č. 51 - Průběh průhybu hřídele

V programu Autodesk Inventor jsem taky provedl pevnostní analýzu hřídele. Zadal jsem příslušný materiál, použil jsem 3 vazby svorky, které umožňují rotaci a zamezují posuv. Zatížení hřídele je stejné jako u předešlého výpočtu hřídele.

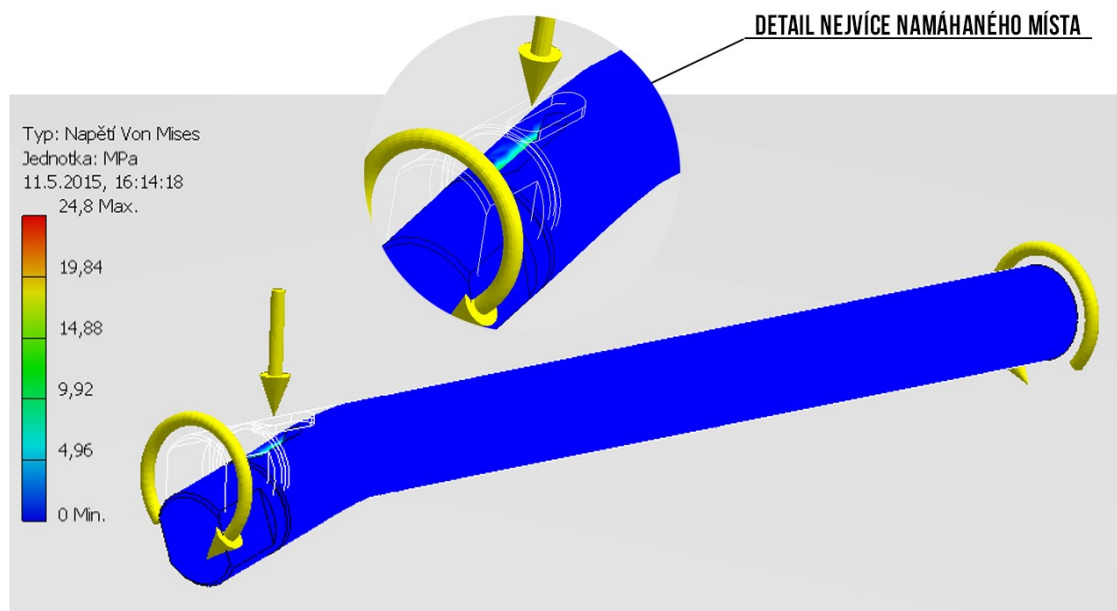


Obr. č. 52 - Zatížení a síť hřídele pro pevnostní analýzu

Legenda:

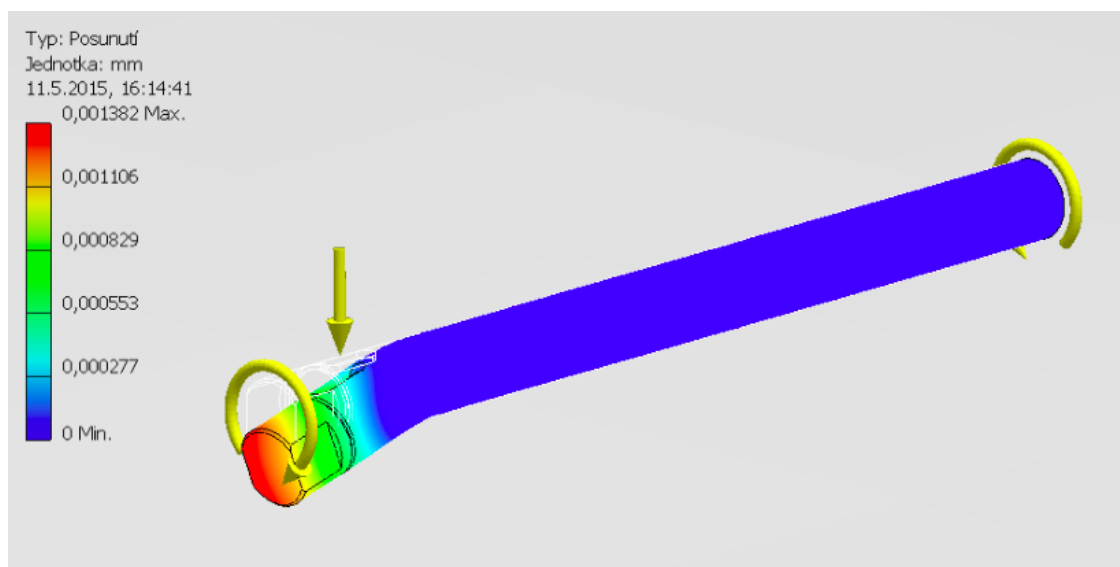
- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Kroutící moment od malé řemenice | 3. Kroutící moment od frézovací hlavy |
| 2. Síla předpětí řemenového převodu | |

Po vytvoření sítě následovala simulace, díky které program stanoví výsledné napětí a deformace. Jedním z výsledků pevnostní analýzy hřídele je ekvivalentní napětí. Napěťová maxima jsou znázorněna červenou barvou, minima modrou. Maximální ekvivalentní napětí je 24,8 MPa, jak je znázorněno na obr. č. 53. Toto napětí není vysoké a nemělo by způsobit žádné vážné deformace.



Obr. č. 53 - Ekvivalentní napětí hřídele

Dalším výsledkem analýzy je posunutí neboli deformace. Největší deformace je 0,001382 mm. Deformace hřídele je způsobena hlavně silou vyvolanou napínáním řemene.



Obr. č. 54 - Deformace hřídele

5.4 Výpočet ložisek

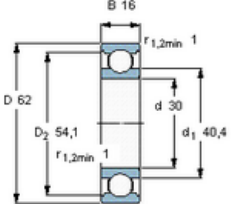
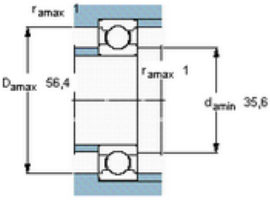
Hřídel je uložena ve třech ložiscích typu SKF 6206 C3. Ložiska jsou namáhána reakčními silami od síly předpětí řemene. Reakční síly jsou uvedeny v tab. č. 16.



Obr. č. 55 - ložisko SKF 6206 C3

Tab. č. 16 - Základní parametry ložiska SKF 6206 C3 [21]

Principal dimensions			Basic load ratings		Speed ratings		Designation
d	D	B	dynamic C	static C ₀	Reference speed	Limiting speed	* SKF Explorer bearing
mm			kN		r/min		-
30	62	16	20,3	11,2	24000	15000	6206 *

Calculation factors

k_F 0,025

f_0 14

Ložisko 1

Reakční síla zatěžující ložisko:

$$R = 270,28 \text{ N}$$

Ze strojnických tabulek jsem určil součinitele X a Y: X=1, Y=0

Stanovení dynamického ekvivalentního zatížení ložiska:

$$P_l = X \cdot R = 1 \cdot 270,28 = 270,28 \text{ N} \quad (37)$$

Výpočet základní trvanlivosti ložiska:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^a \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{20300}{270,28} \right)^3 \frac{10^6}{60 \cdot 6500} = 1086380 \text{ hod} \quad (38)$$

a=3 ...exponent (ložiska s bodovým stykem)

Výpočet modifikované trvanlivosti:

$$L_{10M} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10h} = 1 \cdot 0,96 \cdot 1086380 = 1042925 \text{ hod} \quad (39)$$

a₁=1 ...součinitel spolehlivosti [4]

a₂₃=0,96 ...součinitel zahrnující materiál, mazání a provozní podmínky [4]

Ložiska 2 a 3

Ložiska 2 a 3 jsou na hřídeli uložena vedle sebe, silová reakce v nich je téměř stejná. Ložisko 2 = 19 N , ložisko 3= 22 N . Použiji vyšší hodnotu reakce tedy 22 N a provedu pouze jeden výpočet, jež se bude vztahovat na ložisko 2 i 3.

Reakční síla zatěžující ložiska 2 a 3:

$$R_{2,3} = 22 \text{ N}$$

Stanovení dynamického ekvivalentního zatížení ložiska:

Ze strojnických tabulek jsem určil součinitele X a Y: X=1, Y=0 [4]

$$P_l = X \cdot R = 1 \cdot 22 = 22 \text{ N}$$

Výpočet základní trvanlivosti ložiska:

$$L_{10,h} = \frac{C}{P}^3 \frac{10^6}{60 \cdot n} = \frac{20300}{22}^3 \frac{10^6}{60 \cdot 6500} = 8,5110311 \cdot 10^{16} \text{ hod}$$

Výpočet modifikované trvanlivosti:

$$L_{10M} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10h} = 1 \cdot 0,96 \cdot 8,5110311 \cdot 10^{16} = 8,170589857 \cdot 10^{16} \text{ hod}$$

$a_1=1$...součinitel spolehlivosti [4]

$a_{23}=0,96$...součinitel zahrnující materiál, mazání a provozní podmínky [4]

Vzhledem k tomu, že vřetenno není nijak zvlášť namáháno a reakční síly v ložiscích jsou mizivé, tak podle výpočtu vychází závratná životnost u všech třech ložisek. Vřetenno pracuje ve vyšších otáčkách (dříve 9500 nyní 6500 otáček), v tomto případě se ložiska ke konci jejich životnosti začnou projevovat hučením. Až bude míra hučení neúnosná je potřeba ložiska vyměnit za nová. U strojů s vyššími otáčkami tedy ložiska časem měníme ve většině případů právě kvůli jejich hlučnosti, samotná ložiska nejsou ve většině případů nijak závažně poškozena a lze je znovu využít ve strojích s nízkými otáčkami.

6 Závěr

V úvodu práce je malé seznámení s firmou Willer a jejími produkty. V další části je pak vlastní blíže specifikované zadání od firmy Willer.

V rešerši jsou popsány základní typy kopírovacích frézek dostupných na trhu a popis jejich kopírovacích principů.

V návrhu jsem se snažil čerpat informace nabyté v rešerši. Z možných variant jsem zvolil tu, která se mi jevila jako nejjednodušší, tedy že vřeteno stroje je upevněno k rámu frézky a pohyblivá je upínka s obráběnou čepelí. Toto řešení využívá princip kopírovacího kroužku a šablony. Jednotlivé konstrukční uzly jako soustava vřetene, rám, upínka a odsávání byly navrženy jednoduše na výrobu a na funkčnost. Při konstrukci jsem bral v potaz i ergonomii, kdy pracovní deska frézky je umístěna v pohodlné výšce pro práci s těžšími břemeny. U návrhu bylo zapotřebí brát v potaz maximální cenu určenou zadavatelem, ta byla stanovena na 50.000 Kč včetně DPH. Jelikož je stroj již vyroben, bylo možné zkalkulovat reálné náklady na jeho výrobu, které činí 46.800 Kč včetně DPH, čímž byla podmínka maximální ceny splněna.

Za dva měsíce, po které jsem měl možnost stroj vídat v provozu, se ukázalo, že je stroj spolehlivý a plně nahrazuje funkci starých pásových brusek, jejichž měl být náhradou.

Konstrukcí stroje bylo dosaženo zefektivnění výroby zkrácením výrobních časů hrubého opracování polotovaru čepele. Oproti původní metodě broušením na pásových bruskách se podařilo zkrátit čas výroby jedné čepele z 90 s na 30 s. Frézka také zlepšila pracovní prostředí zaměstnanců, kde se nyní již nepráší, tak jak tomu bylo u broušení na pásových bruskách.

To vše pozitivně ovlivnilo produkci firmy, která si tak může dovolit větší zakázky. S přibývajícimi zahraničními zakázkami, kde se jedná o objednávky v řádech set až tisíců kusů, se frézka v provozu skoro nezastaví.

Frézka jako reálný stroj se osvědčila v provozu a praxe potvrdila, že její návrh byl dobrý. Nicméně firma se neustále vyvíjí a je potřeba již nyní myslet na budoucnost.

V souvislosti s plánovaným rozvojem firmy spojeným s jejím ekonomickým růstem, bych chtěl uvést, že frézka bude ke konci roku 2015 nahrazena robotickou rukou Fanuc M-10, jenž je určená k manipulaci s břemeny do 10 Kg. Hlavním důvodem změny je kvalita a efektivita práce, robotická ruka dokáže pracovat sama, lidský faktor je zapotřebí jen u výměny zásobníků s polotovary.

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1290-8
- [2] KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonů strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1290-3
- [3] KALAB, K.: *Vysokoškolská příručka: Návrh a výpočet spojů pro přenos kroutícího momentu z hřídele na náboj*. VŠB-TU Ostrava, 2011, 31s.
- [4] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1. vydání Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2003, 91s. ISBN 80-86490-74-2
- [5] SHIGLEY, Joseph E., Richard G. BUDYNAS a Charles R. MISCHKE. *Konstruování strojních součástí*. VUT v Brně: nakladatelství Vutium, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0
- [6] Willer Hockey Equipment <http://willer.cz> [online]. 2013 [cit. 2014-01-29]
Dostupné z: <http://willer.cz/2-produkty/5-hokejove-cepele-willer--06.html>
- [7] Elektronické učebnice <http://books.fs.vsb.cz/> [online]. 2013 [cit. 2014-01-29].
Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/TAV/technologie-automatizovanych-vyrob.pdf>
- [8] Prodejce značky Wiwamac <Http://www.opp.cz/> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03].
Dostupné z: http://www.opp.cz/n_opp_006_27.aspx
- [9] Ozgenc Machina <http://www.ozgencmachine.com/> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03].
Dostupné z: <http://www.ozgencmachine.com/omrm-117p-copy-router-for-aluminium-profiles#itemTecSpec>
- [10] Deckel <http://www.e-engraving.com> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03]. Dostupné z: http://www.e-engraving.com/machines/deckel/Deckel_KF12_Pantograph.htm
- [11] DIY pantograf <http://woodgears.ca/> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03]. Dostupné z: <http://woodgears.ca/pantograph/build.html>
- [12] Nářadí pro firmy <http://www.naradi-pro-firmy.cz/> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03].
Dostupné z: http://www.naradi-pro-firmy.cz/index.php?main_page=product_info&products_id=14927
- [13] Centroid <http://www.centroidcnc.com/> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03]. Dostupné z: <http://www.centroidcnc.com/digitizing.htm>

- [14] Google patents <http://www.google.com/patents/> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03].
Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US2923518>
- [15] Sterling Machinery <http://www.sterlingmachinery.com> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03]. Dostupné z: <http://www.sterlingmachinery.com/db-files/Turchan%20Hydraulic%20Duplicators%20General%20Brochure.pdf>
- [16] Mimik Tracer <http://www.mimiktracer.com/> [online]. 2009 [cit. 2015-26-03].
Dostupné z: <http://www.mimiktracer.com/utseries.html>
- [17] Ergonomie ve stoje <http://www.ipaczech.cz/> [online] 2008 (cit 2015 25 04)
Dostupné z: <http://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/ergonomicke-usporadani-pracoviste>
- [18] Frézovací hlava Karned <http://www.e-nastroje.cz/> [online] 2010 (cit 2015 25 04)
Dostupné z: <http://www.e-nastroje.cz/kovoobrabeni/frezovaci-nastroje/frezy-falcovaci/detail-karned-spiralova-hoblovaci-hlava-s-vymenitelnymi-britovymi-destickami-5135-pr.-62-80-mm/>
- [19] Feropol – superdural <http://www.feropol.cz/> [online] 2010 (cit 2015 25 04)
Dostupné z: <http://www.feropol.cz/cz/product/slitiny-hliniku/1/0/>
- [20] Doporučené řezné podmínky u HSC <http://web.spssbrno.cz/> [online] 2010 (cit 2015 29 04)
Dostupné z:
http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-20.pdf
- [21] SKF ložiska <http://www.skf.com/cz/> [online] 2010 (cit 2015 28 04)
Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1050010206&imperial=false>
- [22] Kříž, Rudolf: Strojnické tabulky II. - Pohony. Ostrava: Montanex, 1997.
- [23] ČSN 02 3111 *Hnací klínové řemeny klasických průřezů - Výpočet převodů a předávaných výkonů*. Praha: Český normalizační institut, 1.7.1987.
- [24] Katalog klínových řemenů www.gamatrade.cz [online] 2010 (cit 2015 14 04)
Dostupné z:
http://gamatrade.cz/index.php?route=product/category&path=113_120_225&page=4

Seznam obrázků:

- Obr. č. 1 - Willer
- Obr. č. 2 - Zadání
- Obr. č. 3 - Polotovar hokejové čepele
- Obr. č. 4 - Výsledný produkt – hokejová čepel Willer Hockey Equipment 06
- Obr. č. 5 - Skladba čepele Willer 06
- Obr. č. 6 - Základní princip mechanické kopírovací frézky
- Obr. č. 7 - Schéma rozdělení základních typů kopírovacích frézek
- Obr. č. 8 - Kopírovací frézka s nepřímým vedením firmy Wivamac
- Obr. č. 9 - Kopírovací frézka Wivamac
- Obr. č. 10 - Frézka Ozgenc – základní rozměry
- Obr. č. 11 - Kopírovací frézka hliníkových profilů firmy Ozgenc
- Obr. č. 12 - Základní princip pantografu
- Obr. č. 13 - Kopírovací frézka Deckel KF12 Pantograph
- Obr. č. 14 - Kopírovací frézka na dřevo – DIY řešení
- Obr. č. 15 - možná alternativa pohonu - Horní frézka Makita
- Obr. č. 16 - snímací hlava DP-7 CentroidCNC při digitalizování předlohového výrobku
- Obr. č. 17 - Předloha, výrobek a digitalizovaný obraz
- Obr. č. 18 - US Patent hydraulické snímací hlavy pro kopírovací stroje
- Obr. č. 19 - Schéma hydraulické kopírovací frézky Sterling Machinery
- Obr. č. 20 - Detail snímacího mechanismu hydraulické kopírovací frézky od firmy Mimik Tracer
- Obr. č. 21 - Vlastní návrh kopírovací frézky
- Obr. č. 22 - popis základních částí stroje
- Obr. č. 23 - popis základních částí rámu
- Obr. č. 24 - detail uchycení pouzdra hřídele k rámu
- Obr. č. 25 - Ergonomie pracovního místa ve stoje
- Obr. č. 26 - Uložení motoru a napínák řemenu
- Obr. č. 27 - Sestava uložení hřídele
- Obr. č. 28 - Upínka
- Obr. č. 29 - Náhled na konstrukci upínky

- Obr. č. 30 - Detail základny upínky
- Obr. č. 31 - Navrhnutá frézovací hlava
- Obr. č. 32 - Původní frézovací hlava Karned Tools
- Obr. č. 33 - Návrh odsávání
- Obr. č. 34 - Reálná instalace kopírky hokejových čepelí pro firmu Willer
- Obr. č. 35 - Viditelné poškození na hlavě Karned, stav po 600 kusech čepelí
- Obr. č. 36 - Nová frézovací hlava vlastního návrhu, detail opotřebení po 1000 obrobených čepelí
- Obr. č. 37 - Vyměněna řemenic na kopírovací frézce
- Obr. č. 38 - Detail řešení utěsnění pouzdra pro uložení hřídele
- Obr. č. 39 - úprava - otvor na upínce
- Obr. č. 40 - závěs motoru
- Obr. č. 41 - Upínka
- Obr. č. 42 - uchycení pouzdra pro hřídel k rámu stroje
- Obr. č. 43 - hrubě obrobený polotovár hokejové čepele kopírovací frézou
- Obr. č. 44 - nejčastěji vyráběné typy čepelí firmy Willer Hockey Equipment
- Obr. č. 45 - Návrh řemene typu Z...E podle výpočtového výkonu P_v a otáček n_1
- Obr. č. 46 - Schéma řemenového převodu pro výpočet délky řemene
- Obr. č. 47 - Schéma spojení hřídele s nábojem
- Obr. č. 48 - Uložení ložisek na hřídeli
- Obr. č. 49 - Zadání výpočtu hřídele v programu Autodesk Inventor 2013
- Obr. č. 50 - Průběh ohybového momentu hřídele
- Obr. č. 51 - Průběh průhybu hřídele
- Obr. č. 52 - Zatížení a síť hřídele pro pevnostní analýzu
- Obr. č. 53 - Ekvivalentní napětí hřídele
- Obr. č. 54 - Deformace hřídele
- Obr. č. 55 - ložisko SKF 6206 C3

Seznam tabulek

- Tab. č. 1 – Základní specifikace frézky Wivamac
- Tab. č. 2 – Základní specifikace frézky Ozgenc OMRM 117P
- Tab. č. 3 – Základní specifikace frézky Deckel KF12 Pantograph
- Tab. č. 4 – Tabulka Feropol – specifikace superduralu
- Tab. č. 5 – Doporučené řezné rychlosti pro vybrané materiály
- Tab. č. 6 - Součinitele dynamičnosti a pracovního režimu
- Tab. č. 7 - Výpočtové průměry řemenic pro klínové řemeny
- Tab. č. 8 - Řemenice pro klínové řemeny
- Tab. č. 9 - Klínové řemeny obalované, klasický průřez
- Tab. č. 10 – Jmenovitý ideální výkon převodu s jedním klínovým řemenem
- Tab. č. 11 – Součinitele úhlu opásání malé řemenice
- Tab. č.12 – Součinitelé délky klínových řemenů
- Tab. č. 13 - Vlastnosti zvoleného materiálu hřídele
- Tab. č. 14 - Reakční síly v podporách hřídele
- Tab. č. 15 - Výsledky výpočtu hřídele
- Tab. č. 16 - Základní parametry ložiska SKF 6206 C3

Seznam příloh

- 1 – Výkresová dokumentace ... KOPÍROVACÍ FRÉZKA (MOJ0009-01)
 - ... SEZNAM POLOŽEK (MOJ0009-01.1)
 - (MOJ0009-01.2)
 - ...UPÍNKA (MOJ0009-02)
 - ...FRÉZOVACÍ HLAVA (MOJ0009-11)
 - ...HŘÍDEL (MOJ 0009-12)
 - ...POUZDRO PRO ULOŽENÍ HŘÍDELE (MOJ0009-16)
- 2 – Datový nosič CD
 - ...3D Model
 - ...Výkresová dokumentace
 - ...Diplomová práce
 - ...Poster